

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

**Návrh bypassu parní turbíny pro zvýšení
elektrického regulačního rozsahu**

**Bypass Proposal of Steam Turbine for Electric
Control Range Increasing**

Student: Bc.Radim Brus

Vedoucí diplomové práce: Ing.Radim Janalík, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Brus**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh bypassu parní turbíny pro zvýšení elektrického regulačního rozsahu**
Bypass Proposal of Steam Turbine for Electric Control Range Increasing

Zásady pro vypracování:

1. Popis technologie pro výrobu elektřiny v ETB
2. Současné regulační možnosti a způsob jejich využívání
3. Návrh řešení pro zvýšení elektrického regulačního rozsahu, konstrukční návrh bypassu
4. Způsob provozování parní turbíny s bypassem
5. Technicko – ekonomické posouzení navržených úprav
6. Konstrukční řešení navrženého bypassu

Seznam doporučené odborné literatury:

Ambrož, J. : Parní turbíny a kondenzace, ČVUT Praha, 1984
Kmoníček, V. : Regulace a automatizace tepelných turbín a elektráren, ČVUT Praha, 1976
Škopek, J. : Tepelné turbíny a turbokompresory, Západočeská Univerzita Plzeň, 2010
Škopek, J. : Parní turbíny–Tepelný a pevnostní výpočet, Západočeská Univerzita Plzeň, 2003
Vilimec, L. : Řízení a regulace energetických zařízení, VŠB TU Ostrava, 2008


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě : 20.05.2011

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.05.2011

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc.Radim Brus

Adresa trvalého pobytu: Opavská 6122/18A, Ostrava-Poruba,708 00

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BRUS, R. Návrh bypassu parní turbíny pro zvýšení elektrického regulačního rozsahu. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 63 s. Vedoucí práce Janalík, R.

Diplomová práce se zabývá návrhem obtoku vysokotlaké páry mimo průtočnou část parní turbíny. Cílem je využít konstrukční pásmo minimálního výkonu parní turbíny pro poskytování podpůrných služeb ČEPS a to při zachování cirkulačního množství na parním kotli. Množství páry vyrobené parním kotlem a neodebrané turbínou bude odváděno bypassovou stanicí mimo průtočnou část turbíny přímo do kondenzátoru. Bypassová stanice musí umět řízeně přepouštět požadované množství vysokotlaké páry a zabezpečit redukci tlaku a teploty bez omezování provozu turbogenerátoru nebo poskytování podpůrných služeb pro ČEPS.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BRUS, R. Bypass Proposal of Steam Turbine for Electric Control Range Increasing: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energy, 2011, 63 p. Thesis head Janalík, R.

Diploma thesis deals with proposal of high pressure steam by-pass of steam turbine flow duct. The main aim is to utilize as much as possible steam turbine minimum power design range. It is required for offering supporting services to ČEPS with preservation of steam boiler necessary circulating flow. Steam amount produced by boiler but not consumed by turbine will be led through by-pass station outside the turbine directly to condenser. By-pass station should be able to control required by-pass high pressure steam amount and in the same time to guarantee pressure and temperature decrease of by-passed steam without an adverse limiting of turbo-generator operation or offering supporting services to ČEPS.

Obsah diplomové práce:

1	Úvod	8
2	Společnost Dalkia Česká republika, a.s.	9
3	Elektrárna Třebovice	12
3.1	Historie Elektrárny Třebovice	12
3.2	Počátky teplárenství	15
3.3	Konec výroby elektřiny z kondenzace	16
3.4	Současnost ETB.....	16
4	Regulační možnosti PpS a způsob jejich využívání ^[8]	18
4.1	Regulace PpS v ETB.....	20
5	Návrh způsobu rozšíření regulačního rozsahu ^{[8][10]}	21
5.1	Definování požadovaných parametrů	22
5.2	Analýza provozní doby využití bypassů.....	24
6	Návrh bypassové stanice ^[8]	29
6.1	Způsob vyhodnocení ventilačních ztrát	31
7	Konstrukční řešení navrženého bypassu ^[5]	34
7.1	VT parovod bypassové stanice	34
7.2	Redukční a zchlazovací stanice BTG	34
7.3	Zaústění páry stanice BTG do kondenzátoru	35
7.4	Popis stanice BTG.....	36
7.5	Přívod chladicí vody	37
8	Parametry a materiál bypassové stanice ^[5]	38
8.1	Potrubí před BTG ventilem	38
8.2	Redukční a zchlazovací stanice BTG	39
8.3	Potrubí za redukční a zchlazovací stanicí BTG	39
8.4	Potrubí zástříkové vody	40
9	Návrh způsobu měření bypassové stanice ^[4]	42
9.1	Měření tlaku ^[7]	43
9.2	Měření teploty ^[6]	43
9.3	Měření průtoku – dýza.....	44
10	Návrh a výpočet měřicí tratě ^[4]	45
10.1	Tlaková ztráta.....	46
10.2	Výpočet škrtícího orgánu - dýza ISA 1932 ^{[3][4]}	47
10.3	Vstupní hodnoty	48
10.4	Parametry před dýzou	48
10.5	Zadaná data pro výpočet „d“	48
10.6	Výsledné hodnoty	48
10.7	Měření doprovodných veličin průtoku	49
10.8	Požadavky na zabudování do potrubí	50
10.9	Řízení bypassové stanice.....	51
11	Technicko-ekonomické posouzení navržených úprav	53
11.1	Přínos z využití vyššího regulačního rozsahu.....	53
11.2	Náklady na realizaci bypassových stanic	54
11.3	Výpočet návratnosti investice	56
12	Závěr	57
13	Přílohy	58
14	Seznam použitých zdrojů	58

Přehled použitých zkratek, symbolů, značek a jejich jednotky:

symbol	jednotka	popis
ČEPS		Česká přenosová soustava
EPK		expandér provozních kondenzátů
ETB		elektrárna Třebovice
NT		nízkotlaké
NTO		nízkotlaký ohřívák
PpS		poskytování podpůrných služeb
RV		regulační ventil
TG16		turbogenerátor č.16
VT		vysokotlaké
VTO		vysokotlaký ohřívák

1 Úvod

Parní turbíny v Elektrárně Třebovice poskytují podpůrné služby stability elektrizační soustavy (PpS). Velikost a kvalita služby záleží na velikosti rozsahu elektrického výkonu, který jsou turbíny schopny zajistit. V Elektrárně Třebovice je velikost rozsahu turbín omezována výkony parních kotlů při nízkých výkonech. Parní turbíny by mohly poskytovat o cca 30 MW větší rozsah, ale zařízení kotelny to neumožňuje.

Toto je způsobeno, faktem, že zařízení instalované v ETB není výkonově sladěno. Technologie, která v ETB historicky dosloužila, byla nahrazena technologií jiných parametrů. Parametry vycházely z momentálních potřeb v době výstavby. Tady dochází k diferencím mezi výkony parních kotlů a výkony turbín. Eliminace tohoto jevu je částečně řešena kolektorovým uspořádáním rozvodů parních sítí v Elektrárně Třebovice, ale přesto jsou rezervy na turbínách při minimálních výkonech.

Cílem diplomové práce je navržení technologie bypassové stanice, která zajistí přepouštění páry mimo turbogenerátory při výkonech nižších než jsou minimální výkony parních kotlů. Návrh způsobu přepouštění bude obsahovat popis technologie Elektrárny Třebovice, vyhodnocení stávajícího provozování turbín ve službách PpS, výpočet parametrů pro návrh bypassové stanice, návrh způsobu provozování nové technologie ve vazbě na turbínu a kotel, technicko-ekonomické zhodnocení návratnosti investovaných prostředků a konstrukční řešení navrhovaného řešení bypassové stanice.

2 Společnost Dalkia Česká republika, a.s.

Dalkia Česká republika, a.s. (dále jen Dalkia Česká republika) je členem skupiny Dalkia v České republice, která patří mezi nejvýznamnější energetické skupiny v zemi. Na českém trhu působí od roku 1991. Je tradičním výrobcem a dodavatelem tepla pro města, např. Ostravu, Olomouc, Frýdek-Místek, Prahu, Havířov, Karvinou, Krnov, Nový Jičín či Přerov. Rovněž se řadí mezi přední hráče na českém trhu s elektrickou energií. Výroba elektřiny je realizována převážně v kogeneraci, která je šetrná k životnímu prostředí. Dalkia Česká republika je také jedním z největších poskytovatelů podpůrných služeb pro českou přenosovou soustavu a pomáhá tak zajišťovat rovnováhu mezi spotřebou a výrobou v ČR. Vedle výroby a dodávek tepla a elektřiny se rovněž zabývá výrobou a dodávkami chladu, stlačeného vzduchu a poskytuje komplexní energetické služby.

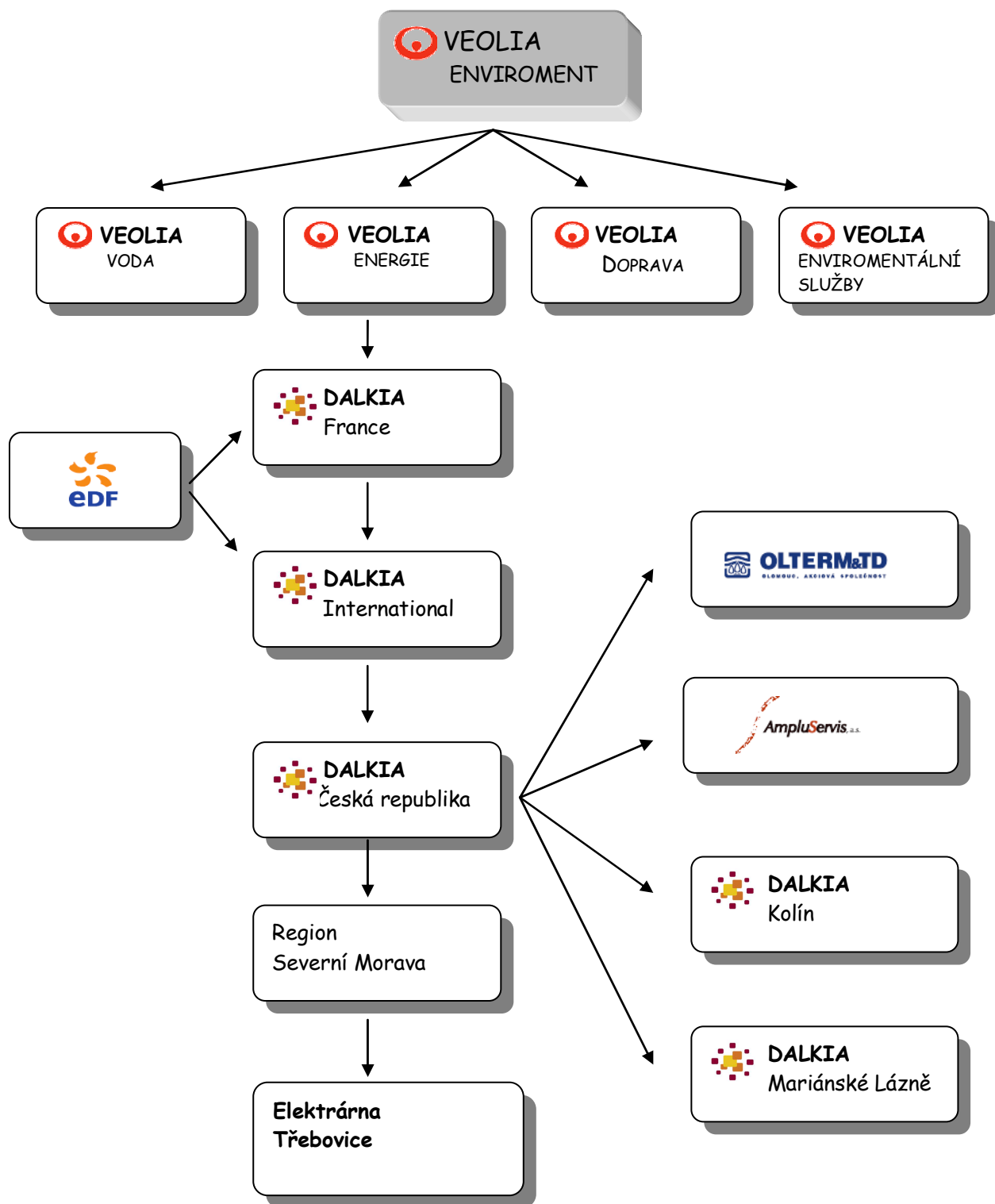
Mezi klienty Dalkia Česká republika patří města a jejich obyvatelé, průmyslové podniky, zdravotnická a školská zařízení, veřejné organizace, hotely, obchodní a administrativní centra atd. Do skupiny Dalkia v České republice patří kromě společnosti Dalkia Česká republika také Dalkia Ústí nad Labem, a.s., Dalkia Kolín, a.s., Dalkia Mariánské Lázně, s.r.o., Olterm & TD Olomouc, a.s. a AmplusServis, a.s. Vlastníkem skupiny Dalkia je světová jednička v oblasti služeb pro životní prostředí – skupina Veolia Environnement – a společnost EDF.

V roce 2009 došlo v rámci Dalkia Česká republika k několika významným změnám. K prvnímu 1.lednu se změnila organizační struktura, když z původní Divize Ostrava a Divize Krnov vznikl Region Severní Morava a někdejší Divize Olomouc a Divize Přerov se sloučily do Regionu Střední Morava. V červenci 2009 byly z Divize Praha vyčleněny aktivity facility managementu, které odkoupila společnost Scheu- +Wirth. V srpnu 2009 vznikla 100% dceřina společnost Dalkia Ústí nad Labem, a.s., do níž se následně přesunuly veškeré aktivity a zaměstnanci Divize Ústí nad Labem. V listopadu 2009 pak byla uzavřena smlouva o prodeji 85 % akcií této společnosti ČEZu, který zároveň na základě jiné dohody získal 15 % akcií samotné Dalkia Česká republika. Obě transakce jsou předmětem schvalování příslušných antimonopolních úřadů.

Důležitým pilířem firemní strategie Dalkia Česká republika nadále zůstává kombinovaná výroba tepla a elektřiny. V ekologicky šetrné kogeneraci, která produkuje mnohem méně emisí než oddělená výroba obou komodit, je Dalkia jedničkou v České republice. Zároveň neustále zvyšuje podíl obnovitelných a druhotných zdrojů energie, zejména biomasy, která představuje strategické palivo budoucnosti. Významným krokem pro naplňování politiky trvale udržitelného rozvoje byla koncem roku 2009 instalace

nového kotle v krnovské teplárně, který spaluje 100% biomasu. Další důležitou investicí byla výstavba nové turbíny TG4 v Teplárně Olomouc o výkonu 8 MWel, která nahradila svou předchůdkyni TG1 o výkonu 6,3 MWel. Všechny inovační projekty realizované v roce 2010 se vyznačovaly tím, že na jedné straně přinášejí Dalkii Česká republika i klientům značné úspory a na straně druhé jsou velmi šetrné vůči životnímu prostředí. Díky tomu jsme byli úspěšní při získávání podpory z fondů Evropské unie na ekologické projekty ^[1].

Aktuální organizační struktura je znázorněna na obrázku č. 2.1.



Obrázek č. 2.1.Organizační struktura Veolia a Dalkia ČR k 31.10. 2010 ^[1]

3 Elektrárna Třebovice



Obrázek 3.1. Elektrárna Třebovice r.2011

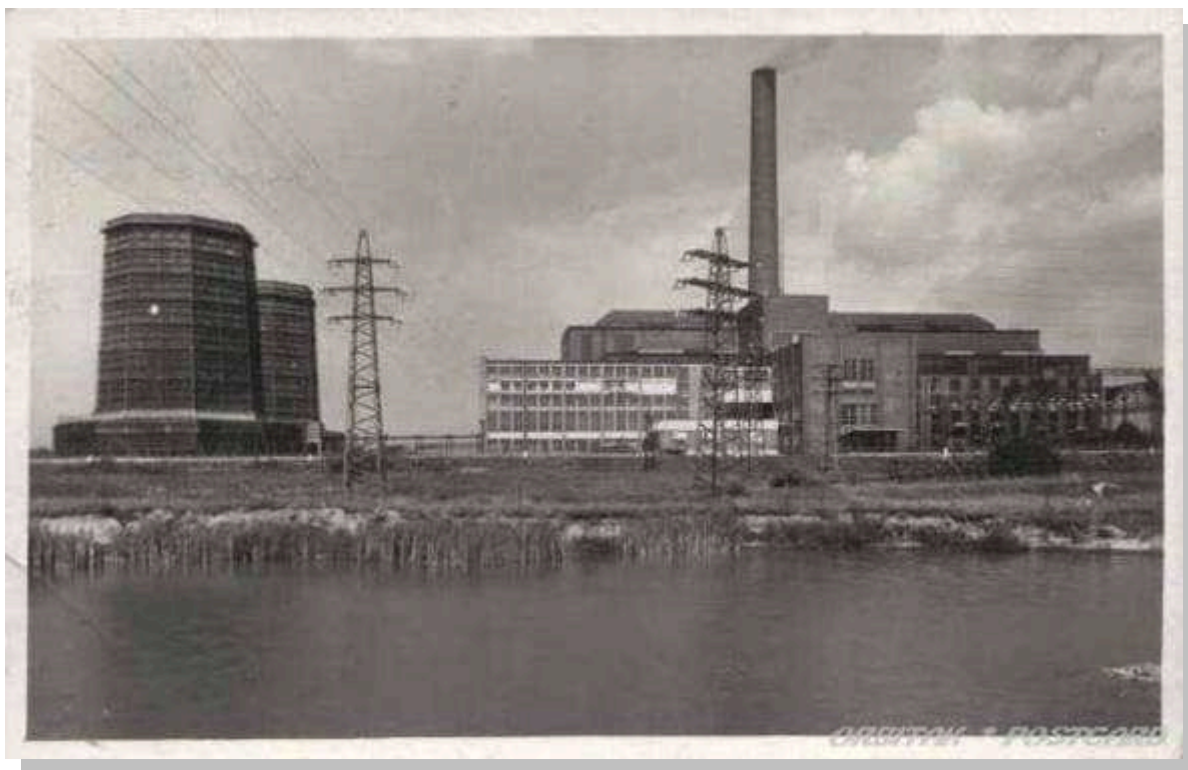
3.1 Historie Elektrárny Třebovice

Koncem dvacátých let minulého století existovaly v oblasti střední a severní Moravy a Slezska dvě elektrárenské společnosti. Byly to Sředomoravské elektrárny, a.s. v Přerově a Moravsko-slezské elektrárny, a.s. v Ostravě. V této době měly Moravsko-slezské elektrárny plně vyčerpanou kapacitu elektrického výkonu a začaly vážně uvažovat o stavbě vlastní elektrárny.

Na doporučení prof. ing. V. Lista z brněnské techniky v letech 1931-1933 společnostmi Sředomoravské elektrárny, a.s. Přerov a Moravsko-slezskými elektrárnami v Ostravě zahájena výstavba nového zdroje pro výrobu elektrické energie, Elektrárna Třebovice (viz obr.3.1). Z mnoha návrhů bylo pro stavbu vybráno místo podél řeky Opavy u obce Třebovice.

V květnu 1930 bylo zahájeno výběrové řízení s požadovanými parametry budoucího zdroje tj. výkonem 45 MWel a tlakem páry 40 bar. Technologie měla obsahovat dvě větší turbosoustrojí a jedno menší pro pokrytí vlastní potřeby elektrárny. V rámci probíhajícího

výběru byly přehodnoceny původně požadované parametry zdroje. Zejména z důvodu vyšší hospodárnosti provozu došlo z podnětu Vítkovických železáren a Škodových závodů v Plzni k prosazení technologie pracující s tlakem páry 130 bar a teplotou 500 °C. Součástí nabídky byly po dobu 15 let poskytnuty neobvyklé záruky a to nejen na funkčnost technologické části, ale rovněž na úhradu paliva, které by bylo spáleno při překročení měrné spotřeby. Současně byla garantována dodávka dalšího zařízení, které zajišťovalo rozvoj elektrárny.

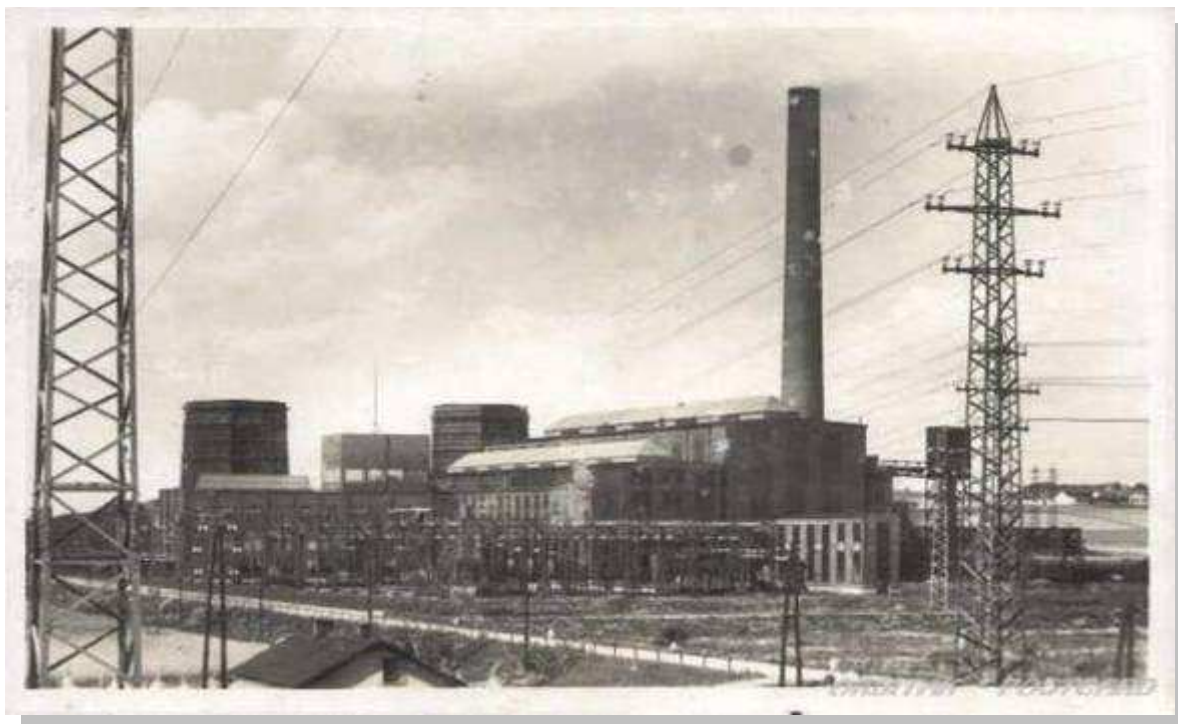


Obrázek 3.2. Elektrárna Třebovice r.1936

V první etapě výstavby Elektrárny Třebovice byly osazeny dvě vysokotlaké turbíny o výkonu 21 MW a jedna nízkotlaká turbína o výkonu 3,5 MWel. Příprava páry o parametrech 500 °C a tlaku 130 bar probíhala ve třech práškových kotlích systému Löffler. Celkový instalovaný výkon byl 45,5 MWel. Pro zásobování rozvodných sítí Moravy a Slezska byla v téže době vystavěna rozvodna s napětím 22 kV, pro dálková vedení do Dluhonic a Přerova rozvodna 110 kV.

Narůstající spotřeba elektrické energie byla podnětem k druhé etapě výstavby elektrárny. Na základě dosavadních zkušeností, provozní spolehlivosti a ekonomice provozu došlo k osazení dalších dvou vysokotlakých kotlů téže konstrukce a turbosoustrojí o výkonu 23,1 MWel. Celkový výkon narostl na 68,6 MWel a tímto se Elektrárna Třebovice (viz obr.3.3) stala největší elektrárenským provozem ve střední Evropě. Díky použité technologii tj. teplotě páry 500 °C a tlaku 130 bar, své hospodárnosti a spolehlivosti se zařadila na první místo v soustavě československých energetických

závodů. Veškerá technologie, tj. kotle a turbosoustrojí, byla vyrobena ve Škodových závodech v Plzni, Vítkovických železárnách a v První brněnské strojárně.



Obrázek 3.3. Elektrárna Třebovice r.1937

Vytvořením protektorátu Čechy a Morava roku 1939 a odtržením hranic se Elektrárna Třebovice dostala pod německou správu a současně došlo ke změně názvu na Kraftwerker Strzebowitz. V roce 1940 je začleněna do říšskoněmecké energetické společnosti Reichs-Elektrowerke A.G.Berlin.

V průběhu osvobozovacích bojů zaznamenala elektrárna závažná poškození na technologiích a rozvodných sítích.

Po ukončení 2. světové války byly započaty práce na obnovení výroby elektrické energie. Díky maximálnímu nasazení pracovníků byla k 16.červnu 1945 obnovena dodávka elektrické energie. Vedení elektrárny opět přešlo do rukou původních vlastníků Středomoravských elektráren, a.s. Přerov a Moravsko-slezských elektráren v Ostravě jejímž sloučením vznikla společnost Východomoravské elektrárny, a.s. Tímto krokem se začala psát poválečná historie Elektrárny Třebovice.

V letech 1949-1950 došlo k první poválečné modernizaci Třebovické elektrárny instalováním vysokotlakého kotle typu Löffler o výkonu 180 t/hod s parametry páry 500°C a tlaku 130 bar. Kotel společně s turbosoustrojem o výkonu 40 MWel tvořil největší poválečný výrobek Škodových závodů Plzeň. Přes veškerou snahu techniků nebyly dosaženy deklarované výkonové parametry z důvodu zanášení teplosměnných ploch

kotle. Na základě těchto provozních stavů byla do blokového uspořádání s turbínou přivedena pára ze stávajících vysokotlakých kotlů.

K najetí výše uvedeného soustrojí došlo 1.května 1950 a Elektrárna Třebovice rozhodnutím tehdejšího režimu mění svůj název na Elektrárnu 1.máje.

Další významná modernizace Elektrárny Třebovice proběhla v letech 1952-1955 instalováním tří kotlů s tavnou komorou. Výkon každého z nich byl 220 tun páry za hodinu, což umožnilo navýšit výstupní teplotu páry na 540°C. Dodávku opět provedly Vítkovické železárny. Současně došlo k osazení tří turbosoustrojí, každé o výkonu 50 MWel, jejichž dodávka byla rozdělena mezi tři v tehdejší době významné výrobce. Byly to Škodovy závody Plzeň, Českomoravská Kolben-Daněk a švýcarská firma Brown-Boveri. Tímto bylo možno srovnávat výrobky našich firem se zahraničními.

Přístavba elektrárny se svými doplňky změnila situaci závodu. Přispěly k tomu i tři nové hyperboloidické železobetonové věže. Od uvedení třetího 220-ti tunového kotle Třebovické elektrárny do provozu v lednu 1955 byla Elektrárna Třebovice svým instalovaným elektrickým výkonem 258,6 MW největší elektrárnou v naší republice [3].

3.2 Počátky teplárenství

Dalším významným mezníkem v historii Elektrárny Třebovice byl rok 1954. V souvislosti s výstavbou největšího z ostravských sídlišť Poruby, bylo potřeba vyřešit zásobování teplem nově budovaných objektů převážně bytového charakteru. Od prvotní představy výstavby zdroje tepla v oblasti Martinova, který měl mít charakter výtopny bylo upuštěno a po zvážení všech možností, bylo rozhodnuto o rekonstrukci Třebovické elektrárny na teplárnu.

V této souvislosti došlo k demontáži tří předválečných Löfflerových kotlů včetně dvou vysokotlakých turbín a jedné nízkotlaké turbíny provozovaných od roku 1933. Toto zařízení bylo nahrazeno třemi průtočnými kotli typu Benzon o výkonu 80 t/hod a dvoutělesovou kondenzační turbínou TG33 se dvěma regulovanými a třemi neregulovanými odběry páry s turbogenerátorem o výkonu 30 MWel.

Centralizovaná dodávka tepla do oblasti Poruby byla zahájena v roce 1960. Příprava horké vody byla zpočátku řešena provizorním výměníkem o výkonu 35 MWt. V roce 1963 došlo ke zprovoznění výměňkové stanice pro ohřev primární vody s výkonem 140 MW. Následným navýšením výkonu o 87 MWt v roce 1970 a 60 MWt v roce 1989 disponovala Elektrárna Třebovice tepelným výkonem v horké vodě 287 MWt. Dodavatelem všech výměníků tepla pára-voda byla společnost První brněnská strojírenská,a.s. [3].

3.3 Konec výroby elektřiny z kondenzace

Stále se zvyšující potřeba tepla, která souvisela s pokračující výstavbou sídlištních celků na území města Ostravy, si vyžádala další změny v technologii elektrárny. V roce 1967 byl ukončen provoz posledního turbosoustrojí z předválečného uspořádání elektrárny s výkonem 23,1 MW. V roce 1977 ukončila provoz první poválečná turbína s označením TG11 z roku 1951 o výkonu 40 MWel, v roce 1983 turbosoustrojí TG13 z roku 1954 o výkonu 50 MWel. O rok později ukončilo provoz turbosoustrojí TG12 z roku 1952 rovněž o výkonu 50 MWel. Tyto změny v původním uspořádání technologie elektrárny završily konec výroby elektrické energie v kondenzačním režimu.

Výrobu elektrické energie pro oblast Ostravy a Karviné převzala toho času moderní kondenzační elektrárna Dětmorovice.

Současně s výměnou turbosoustrojí byla z důvodu dožití a potřeby uvolnění prostoru na výstavbu zařízení pro dodávku tepla provedena demontáž kotle typu Babcock-Wilcox o výkonu 10 t/hod z roku 1933, následně v roce 1974 další dva kotle typu Löffler z předválečných let 1938 - 1939 o výkonu 70 t/hod a v roce 1977 došlo k demontáži posledního kotle řady Löffler o výkonu 180 t/hod z roku 1950, který se od počátku svého uvedení do provozu potýkal s vážnými technickými problémy.

Teplárenský režim Elektrárny Třebovice byl zpečetěn uvedením do provozu dvou horkovodních kotlů HK1 a HK2, každý o tepelném výkonu 58 MW. Současně došla uvedena do provozu nová oběhová stanice horké vody pro městské části Ostrava - Poruba a Ostrava – Jižní město. V letech 1991-92 byla provedena rekonstrukce kondenzační turbíny TG14 na odběrový stroj.^[3]

3.4 Současnost ETB

Novodobá epocha Elektrárny Třebovice se datuje rokem 1998, kdy byla na místě bývalé turbíny TG13 postavena a zprovozněna nová rovnotlaká, dvoutělesová, odběrová parní turbína TG15 s výkonem 72 MW s vlastní výměňkovou stanicí o výkonu 160 MWt. Obnova zařízení strojovny v ETB byla završena v r. 2004 výstavbou rovněž rovnotlaké, dvoutělesové, odběrové parní turbíny TG16 o výkonu 72MW, která nahradila doslouživší parní turbínu TG14. Současné schéma Třebovické elektrárny je znázorněno na obrázku č.3.4.

Vzhledem k současným trendům a požadavkům na stabilitu elektrizační sítě, jsou všechny parní turbíny certifikovány pro poskytování podpůrných služeb pro Českou přenosovou soustavu. Podle výrobních kapacit a s ohledem na dodávky tepla pro obyvatelstvo poskytují turbíny v ETB primární regulaci, sekundární regulaci a terciární regulaci. Význam jmenovaných regulací je popisován dále.

4 Regulační možnosti PpS a způsob jejich využívání ^[8]

Turbogenerátory jsou v letním období provozovány převážně v kondenzačním režimu. Jelikož nejsou zatížené velkými odběry pro teplárenské účely, je možné využít celou kondenzaci tj. celý regulační rozsah TG je využíván k poskytování podpurných služeb regulace výkonů a přenosů energetické soustavy ČR.

Každý turbogenerátor má výrobcem stanovené provozní pásmo pro výkonové změny. Jsou to takové, které neovlivňují bezpečný provoz a životnost zařízení. Ve většině případů se jedná o definování rozsahu elektrického výkonu, s čímž souvisí množství vstupní páry přiváděné do parní turbíny.

V ETB je sběrníkový systém rozvodu vysokotlaké páry a tudíž je nutné posuzovat výkony parních turbín a výkony parních bloků jako jeden blok.

Maximální výkon bloku je určen maximálním výkonem turbogenerátorů a kotlů - ten je v současné době přibližně na stejné úrovni a běžně se využívá jako horní pásmo pro poskytované podpurné služby. Z toho důvodu ho nelze pro zvýšení regulačního rozsahu TG v rámci poskytování PpS dále využít.

Stanovení minimálního výkonu bloku je však složitější. Jelikož ETB je svým provedením teplárna, je minimální výkon úzce spojen s teplárenským vytěžováním parních turbín. Při teplárenské výrobě je účelné vytěžovat parní turbíny v optimálních výkonových hladinách. Proto v těchto obdobích nedochází k potřebě snižování elektrického výkonu na hranici výkonového minima. Při ukončení topné sezóny se situace mění a pro podpurné služby je možno vyčlenit daleko větší pásmo. Toto pásmo odpovídá povolenému pásmu výkonových změn. Nyní nastává okamžik, kdy se technická minima kotelny a technická minima parních turbín rozcházejí. Parní turbíny jsou schopné snižovat svůj výkon, ale není jim to umožněno z důvodu minimálního výkonové hranici kotelny.

Všechny parní turbíny v elektrárně Třebovice jsou úspěšně certifikovány na poskytování podpurných služeb pro ČEPS. Certifikace jsou platné na poskytování primární regulace frekvence sítě, sekundární regulace a terciální regulace. Certifikace proběhla v celém výkonovém rozsahu, který dovoluje výkon kotelny, a při všech možných provozních kombinacích provozování těchto parních turbín a parních kotlů.

Primární regulace výkonu bloku představuje soubor technických prostředků a opatření, zajišťujících rychlou změnu výkonu bloku jako reakci na změnu frekvence elektrizační soustavy. Jde o regulaci proporcionální, která využívá akumulovanou energii v technologickém zařízení a zajišťuje základní stabilizaci kmitočtu v síti. Jedná se o změny v řádu vteřin – např. 10 MW za 30 vteřin, tj. trendem cca 20 MW/min. Pro

požadovaný výkon ΔP primární regulace (příspěvek požadovaného výkonu) v rozmezí frekvence f_{\min} až f_{\max} platí vztah

$$\Delta P = -\frac{100 \cdot P_{jm}}{f_{jm} \cdot S_T} \cdot \Delta f \quad [\text{MW}] \quad (4.1)$$

kde:

P_{jm}	jmenovitý elektrický výkon bloku	[MW]
f_{jm}	jmenovitá frekvence v síti	[Hz]
Δf	změna frekvence v síti	[Hz]
S_T	nastavená statika primární regulace	[%]
ΔP	příspěvek požadovaného výkonu	[MW]

Sekundární regulace výkonu bloku je proces změny hodnoty výkonu regulovaného elektrárenského bloku tak, jak je požadováno sekundárním regulátorem frekvence a salda předávaných výkonů. Je to soubor technických prostředků, který zajišťuje požadovanou hodnotu kmitočtu a regulaci sjednané výměny energie mezi sousedními elektrizačními soustavami. (Jinak řečeno, sekundární regulace je nadřazena obvodům primární regulace všech elektrárenských bloků v soustavě – je to vlastně řídicí centrum celé soustavy.) V případě poruchy ve vlastní soustavě (výpadek výroby nebo spotřeby elektřiny) musí sekundární regulace dosáhnout souladu mezi výrobou a spotřebou během několika minut. V režimu sekundární regulace však mohou pracovat jen vybrané elektrárenské bloky – ty, které vyhovují stanoveným požadavkům především z hlediska dynamických vlastností (lze u nich aktivovat výkonovou rezervu během několika minut), funkčních vlastností technologie a ty, které jsou pro takový provoz vybaveny odpovídajícím přístrojovým vybavením. Požadovaný výkon zadává centrální dispečink soustavy a jeho dosažení zajišťuje instalovaný systém regulace výkonu bloku.

Terciární regulace – jedná se o poskytnutí kladné nebo i záporné rezervy parního výkonu pro pokrytí potřeb sítě České přenosové soustavy. Tato služba je aktivována pracovníky ČEPS na základě telefonické výzvy.

Všechny tyto služby se řídí pravidly provozování přenosové soustavy tzv. KODEXEM PŘENOSOVÉ SOUSTAVY.

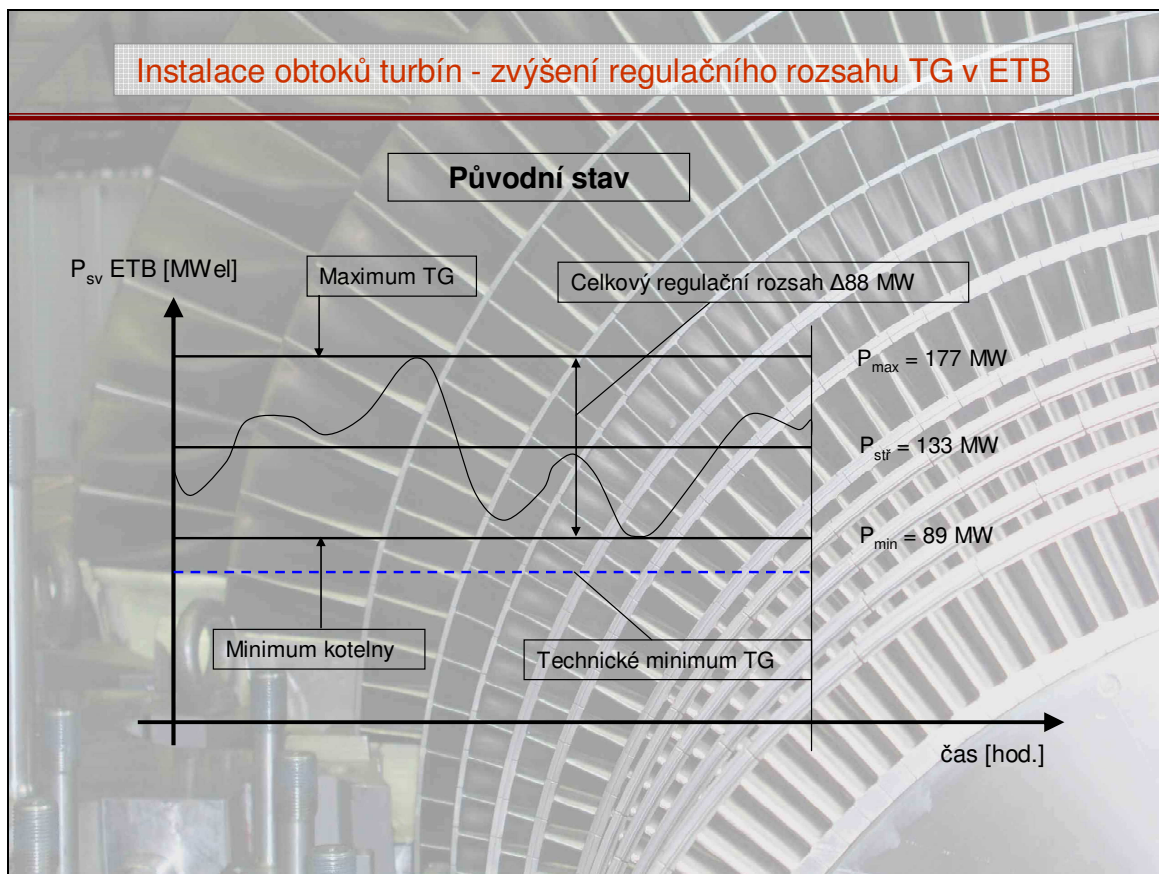
Cílem Kodexu PS je vypracovat a veřejně publikovat informace pro účastníky trhu a pravidla, která stanoví minimální technické, konstrukční a provozní požadavky pro připojení a užívání přenosové soustavy a podmínky pro poskytování (PpS).

4.1 Regulace PpS v ETB

Elektrárna Třebovice v současné době nabízí a využívá všechny tři popisované regulace stability elektrizační soustavy. Původní stav využití výkonů parních turbín v ETB při poskytování podpůrných služeb je znázorněno na obrázku č.4.1. Je zde vidět střední hodnota výkonu $P_{stř}$ na hodnotě 133 MW, od které se odvíjí kladná nebo záporná regulační práce. Maximální výkon P_{max} pro PpS je v ETB na 177 MW a minimální výkon P_{min} pro PpS je na 89 MW. Rozdíl maximálního a minimálního výkonu pro PpS dává regulační rozsah ETB, který je 88 MW.

Minimální výkon na 89 MW je současně také minimálním výkonem kotelny. I když parní turbíny by mohly s výkonem sjíždět pod tuto hranici, kotelná je nepustí, neboť by došlo k zastavení cirkulace na parních kotlích a k jejich poruchovému odstavení, nebo k poruše na tlakovém celku. Výjimečné krátkodobé překmity pod minimální výkony parních kotlů řeší obsluhy kotlů řízeným otevíráním tzv. polnice, kterou odvádějí potřebné množství páry do atmosféry a tím zajistí minimální průtok kotlem.

I když má Elektrárna Třebovice tři turbogenerátory certifikované na poskytování podpůrných služeb, vystupuje vůči regulátoru přenosové soustavy (ČEPS) jako jeden zdroj. Tento způsob se nazývá fiktivním blokem. Fiktivní blok je řízen nadřazeným řídicím systémem, který ovládá výkon jednotlivých turbín. Řídicí systém fiktivního bloku komunikuje s ČEPS a dle jejich požadavků rozděluje požadované výkony na jednotlivé turbíny.



Obrázek č. 4.1. Původní stav poskytovaných služeb PpS

5 Návrh způsobu rozšíření regulačního rozsahu ^{[8][10]}

Řešení difference mezi minimálním výkonem kotlů a minimálním výkonem turbogenerátorů je několik.:

- *Zajistit cirkulaci v kotlích řízeným odvodem páry do ovzduší* – jedná se o neekonomické řešení. Je ho možné využít pouze při krátkodobých přechodových stavech. Výrazné ztráty napájecí vody mimo cyklus.
- *Zajistit cirkulaci v kotlích řízeným odváděním přebytečné páry mimo průtočnou část TG přímo do kondenzátoru pomocí bypassové stanice.*
- *Zajistit cirkulaci v kotlích řízeným redukováním páry v redukční stanici* – způsob využívaný, ale je nutné mít zajištěn trvalý odběr tepla za redukci. Mimo topnou sezónu je využití prakticky nereálné.

Jako vhodnou a nejlépe přijatelnou variantu jsem zvolil řízené odvádění přebytečné páry mimo průtočnou část TG přímo do kondenzátoru parní turbíny. Jedná se o využití principu již využívané technologie, která se instaluje a používá na elektrárenských blocích při najíždění nebo odstavování parních kotlů, nebo při výpadků turbogenerátorů. Jednoduše řečeno „TG je v provozu a bypass stojí“ nebo „bypass je v provozu a TG stojí“.

Mnou navrhovaný systém je ovšem jiný a musí být schopný zajistit bezpečný a spolehlivý provoz parní turbíny i při provozování bypassové stanice.

Základním prvkem stanice je BTG ventil. Jedná se o výrobek firmy CCI – Control Components Inc., která se specializuje na bypassové stanice parních turbín. Jedná se o výrobek, který dokáže redukovat a ochladit páru na parametry, které jsou přijatelné pro vpuštění do kondenzátoru provozované turbíny.

BTG ventil má za úkol redukovat a chladit vysokotlakou páru. Velikost redukováného tlaku a teploty musí být tak velká, aby neohrožovala nebo neomezovala kondenzátor nebo poslední řadu rotorových lopatek turbíny. Celá stanice musí být opatřena na vstupu VT páry a na výstupu do kondenzátoru armaturami pro její bezpečné odstavení pro případ opravy. Snímání množství, teploty a tlaku včetně dálkového přenosu je v dnešní době již samozřejmou výbavou.

Bypassová stanice nesmí za žádných okolností omezovat provoz parní turbíny. Proto je na vstupu vybavena uzavírací armaturou s pohonem na stlačený vzduch, který zajistí rychlé uzavření páry do bypassu v případě výpadku turbíny nebo překročení havarijních mezí na samotném bypassu.

Ekonomie provozování energetických zařízení je velice bedlivě sledována a vyhodnocována. Proto i samotný obtok parní turbíny musí být vybaven zařízením pro sledování a vyhodnocování proteklého množství páry a zástřikové vody. Na přívodním parovodu před BTG ventilem je instalovaná měřicí dýza a na potrubí nástřikové vody je měřicí clona včetně snímačů tlaku a teplot.

Jelikož se jedná ve své podstatě o maření vysokotlaké páry, musí nastat přepouštění páry bypassovou stanicí pouze na krátkou dobu. Poskytnutí této výkonové rezervy pro sekundární regulaci je podmíněno krátkodobým provozování bypassové stanice. Jednoduše řečeno, tržby z poskytovaných podpůrných služeb s rozšířeným pásmem musí být větší, než náklady na výrobu zmařené páry.

5.1 Definování požadovaných parametrů

Požadované parametry pro návrh bypassové stanice musí vycházet se současného regulačního rozsahu poskytovaných podpůrných služeb fiktivního bloku, který je omezen minimálním výkonem kotelny.

Současné pásmo viz obrázek č.4.1. se pohybuje v těchto parametrech:

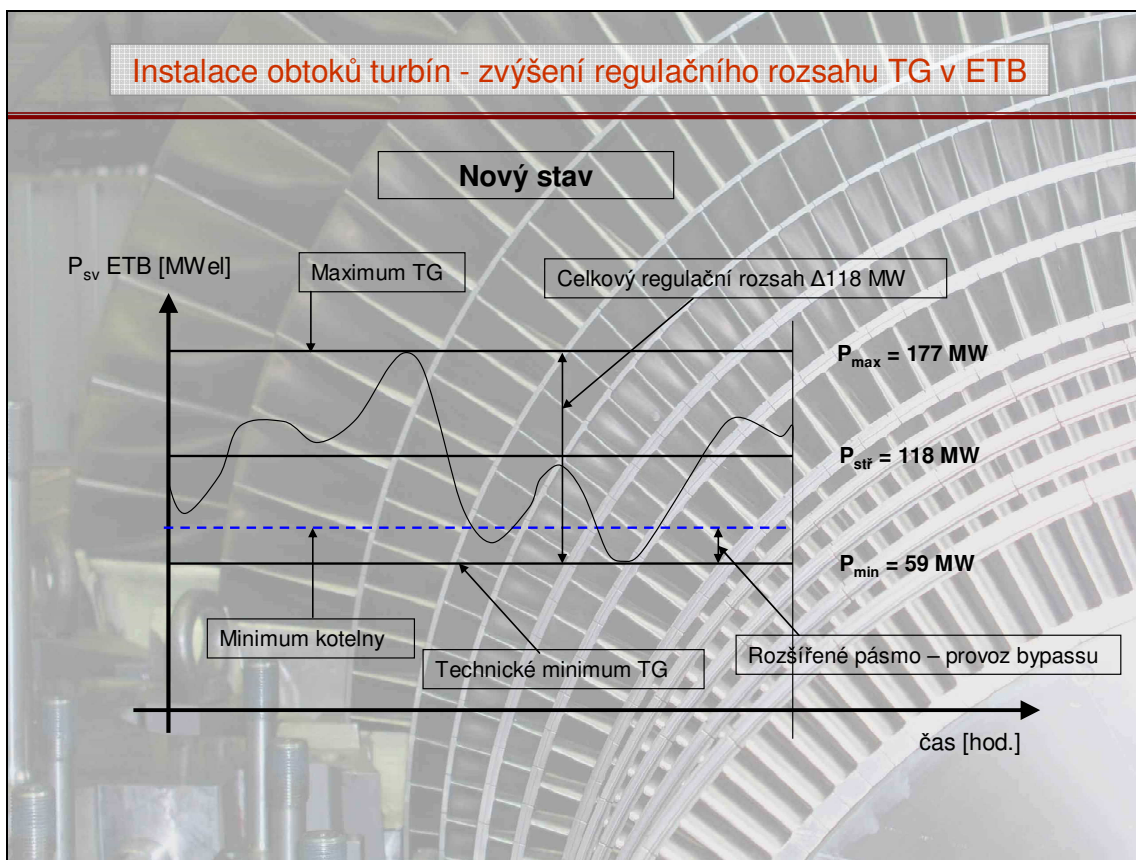
- P_{\max} = 177 MWel
- $P_{\text{stř}}$ = 133 MWel
- P_{\min} = 89 MWel
- Regulační rozsah = $\Delta 88$ MWel.

Na obrázku č.5.1. je vyobrazeno rozšířené pásmo regulačního rozsahu podpůrných služeb fiktivního bloku. Toto pásmo je rozšířeno o využitý výkon parních turbín v rámci dovoleného technického minima. Vzniklá přebytečná pára pro zachování průtočného množství kotelny musí být odváděna mimo TG přímo do kondenzátoru.

Touto úpravou dojde k docílení zvýšení regulačního rozsahu pro PpS o +/-15 MW to je o absolutní výkon 30 MW. Rozšířením pásma také dojde ke snížení střední hodnoty výkonu regulačního rozsahu $P_{stř}$.

Nové nastavení rozsahů PpS viz obrázek č.5.1. se pohybuje v těchto parametrech:

- P_{max} = 177 MWel
- $P_{stř}$ = 118 MWel
- P_{min} = 59 MWel
- Regulační rozsah = $\Delta 118$ MWel.



Obrázek č. 5.1. navrhovaný stav poskytovaných služeb PpS

- P_{max} zobrazuje maximální dosažitelný elektrický výkon fiktivního bloku ETB
- $P_{stř}$ zobrazuje střední hodnotu regulačního pásma pro PpS. Od této hodnoty se výkon pohybuje v kladné nebo v záporné regulační odchylce.
- P_{min} zobrazuje minimální elektrický výkon, který jsou schopny docílit parní turbíny ve fiktivním bloku

K výpočtu množství potřebné páry pro přenos bypassovými stanicemi jsem použil údaje z bilančních schémat parní turbíny, kde výkonu 72 MWel odpovídá spotřeba 244 t/h VT páry. Podílem spotřebované páry a vyrobené elektrické energie dostanu množství páry potřebné na výrobu 1 MW elektrické energie.

$$M_{1MW} = \frac{M_{PÁRY}}{P_{GEN}} = \frac{244}{72} = 3,388 \approx 3,4 \quad [t/hod] \quad (5.1.)$$

Kde. M_{1MW} množství páry potřebné na 1 vyrobený MW el. Energie [t/h]

$M_{PÁRY}$ množství páry vstupující do TG [t/h]

P_{GEN} elektrický výkon generátoru [MW]

Na 1 MW vyrobené elektrické energie připadá 3,4 t/h vysokotlaké páry.

Hodnota rozšířeného pásma pro poskytované podpůrné služby vynásobená množstvím páry potřebným na výrobu 1MW elektrického výkonu dle vzorce 5.2, určuje potřebné množství páry potřebné pro dimenzování bypassové stanice.

$$M_{BYPASS} = P_{ROZ} \cdot M_{1MW} = 30 \cdot 3,4 = 102 \approx 100 \quad [t/h] \quad (5.2.)$$

Kde. P_{ROZ} výkon rozšířeného pásma pro PpS [MW]

M_{1MW} množství páry potřebné na MW el. Energie [t/h]

M_{BYPASS} množství páry pro bypassovou stanici [t/h]

Výpočet nám udává, že zvýšením rozsahu PpS z $\Delta 88$ MW o 30MW na $\Delta 118$ MW bude nutné přepouštět mimo průtočné části parních turbín 100 t/h „ostré“ páry o tlaku 10,8 MPa a teplotě 535 °C.

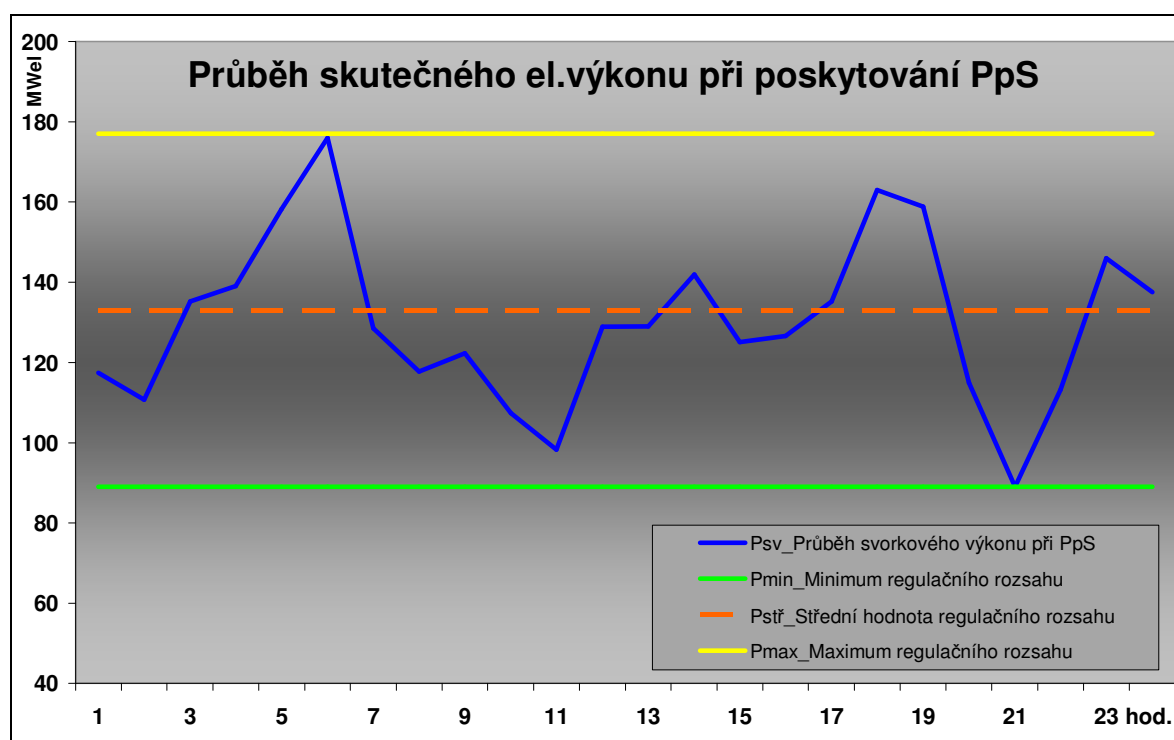
Jelikož existuje možnost instalovat bypassové stanice na dvě parní turbíny, rozdělím toto množství mezi turbogenerátory TG15 a TG16. Každý bude mít bypassovou stanici o výkonu 50 t/h. Tento způsob řešení mi zaručí nižší zatížení kondenzátoru jednotlivé turbíny při provozu bypassové stanice. Dále mi umožní postavit zařízení menších rozměrů. Tento fakt je velice podstatný, protože již v současné době jsou prostory strojovny a kondenzací turbín velmi stísněné.

5.2 Analýza provozní doby využití bypassů

Turbogenerátory provozované v podpůrných službách pracují ve sjednaném regulačním pásmu ohraničeném v horní části maximálním výkonem kladné regulační odchylky P_{max} a v dolní části minimálním výkonem záporné regulační odchylky P_{min} . Střed tohoto pásma je dán tzv. střední hodnotou regulačního rozsahu $P_{stř}$. Navrhovaný způsob

řešení přinese rozšíření tohoto pásma regulace ze současných ΔP 88 MW na vypočtených ΔP 118 MW.

Několikaletým provozováním turbogenerátorů v režimu poskytování podpůrných služeb v ETB bylo vyzorováno, že převážnou část této doby se výkony TG pohybují kolem střední hodnoty regulačního rozsahu $P_{stř}$. Je to dáno způsobem regulace přenosové soustavy, která se snaží udržovat výkony turbín na střešní hodnotě regulace, pro případ náhlého přebytku nebo náhlého nedostatku elektřiny v soustavě. Doba, kdy je elektrický výkon TG v krajních polohách poskytovaného pásma, je minimální. Přesto jsem provedl analýzu pohybu výkonu TG při poskytování podpůrných služeb. Na obrázku č.5.2. je znázorněna referenční část 24 hodin skutečného průběhu elektrického výkonu při poskytování PpS.



Obrázek 5.2. příklad skutečného provozu při poskytování PpS

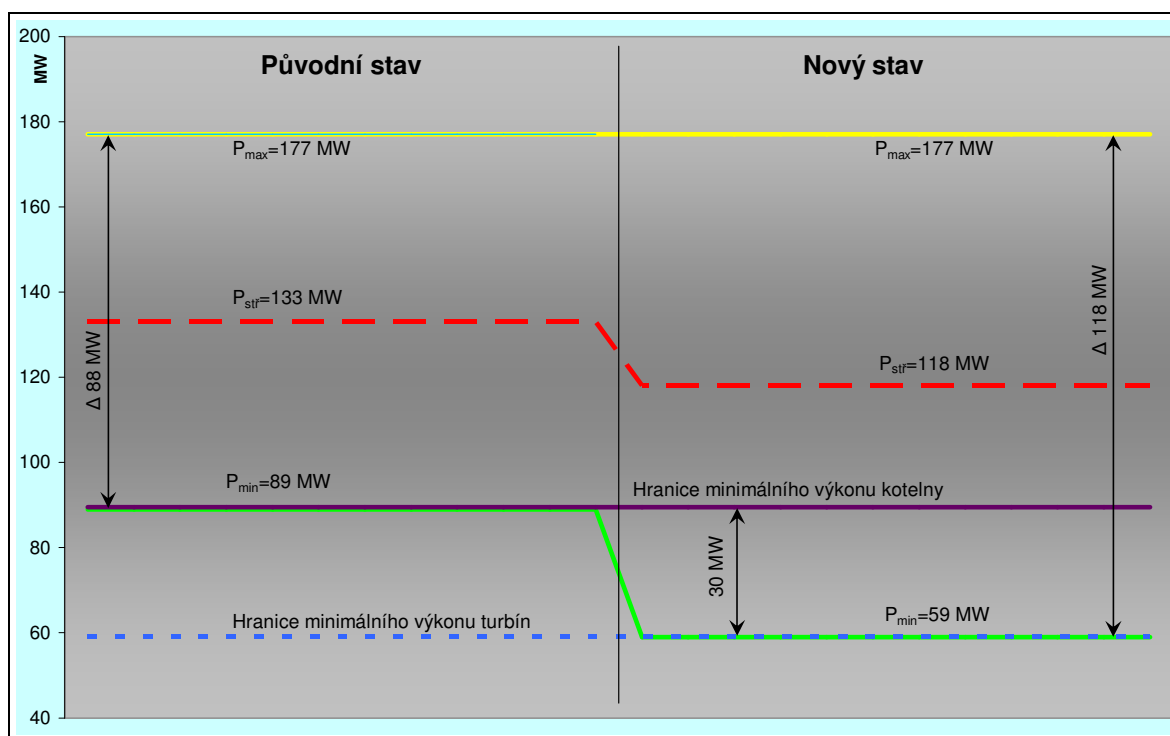
Analýza naměřených dat vychází ze skutečných hodnot za rok 2010. Data byla stažena z monitorovacího a archivačního systému Elektrárny Třebovice. Tento systém je nainstalován na všechna důležitá zařízení ETB. Data jsou načítána a ukládána na server ve 20-ti sekundových intervalech. Hodnota zobrazovaná v archivu je tedy 20-ti sekundový průměr.

Jelikož je potřeba využít minimální výkony turbogenerátorů, bylo také důležité stanovit, kdy dochází k současnému provozování TG a parních kotlů na minimálních výkonech při poskytování PpS. Souběh minimálních výkonů nastává pouze v letních

měsících mimo topnou sezónu, kdy jsou turbíny provozovány převážně v kondenzačním režimu a nároky na dodávky tepla jsou minimální.

Oblast minimálních výkonů při podpurných službách je v rámci terminologie kodexu přenosové soustavy definována jako záporná regulační odchylka. Pro vyhodnocení doby provozu v těchto výkonových hladinách jsem z načtených dat použil pouze data ze záporné regulační odchylky. Dále je posuzováno procento provozu v záporném regulačním rozsahu.

Ze stažených dat za rok 2010 je zřejmé, že parní turbíny byly provozovány v kondenzačním režimu nebo s málo vytíženými teplofikačními odběry v období květen až září. Délka tohoto období představuje 3336 provozních hodin. Toto období jsem použil jako referenční vzorek dat pro stanovení možné doby provozování bypassových stanic.



Obrázek 5.3. porovnání současného a nového stavu

Výpočtem jsem zjistil, že pásmo 30MW (+/- 15 MW), o které se rozšíří regulační rozsah pro PpS a bude nutné jej pokrýt provozem bypassové stanice, představuje 49,15 % z rozšířené záporné regulační odchylky. Schématicky je tato změna v regulačním rozsahu znázorněna na obrázku č.5.3.

$$I_{\%BYPASS, nov} = \frac{P_{-\Delta 59 nov}}{100} \cdot P_{BYPASS, nov} = \frac{59}{100} \cdot 30 = 49,15 \quad [\%] \quad (5.3.)$$

Kde. $I_{\%BYPASS}$ oblast provozu bypassu vyjádřena procentně [%]

$P_{\Delta 59\text{nov}}$nový záporný rozsah regulační odchylky [MW]

$P_{\text{BYPASS,nov}}$výkon nutný k pokrytí bypassovou stanicí [MW]

Z naměřených dat jsem vypočítal, že ve sledovaném období se turbíny pohybovaly v záporné regulační odchylce po dobu 1559 hod. Graficky jsem provedl rozdělení této doby na provoz od 0% až do 50,85 % záporné regulační odchylky a na provoz v pásmu od 49,15% až do 100% záporné regulační odchylky, který odpovídá možnému provozu bypassu (viz. Obrázek č.5.4.). Provoz bypassové stanice by byl potřebný po dobu 281 hodin.

Z následujícího výpočtu získám, kolik procent provozní doby odpovídá 281 hodinám .

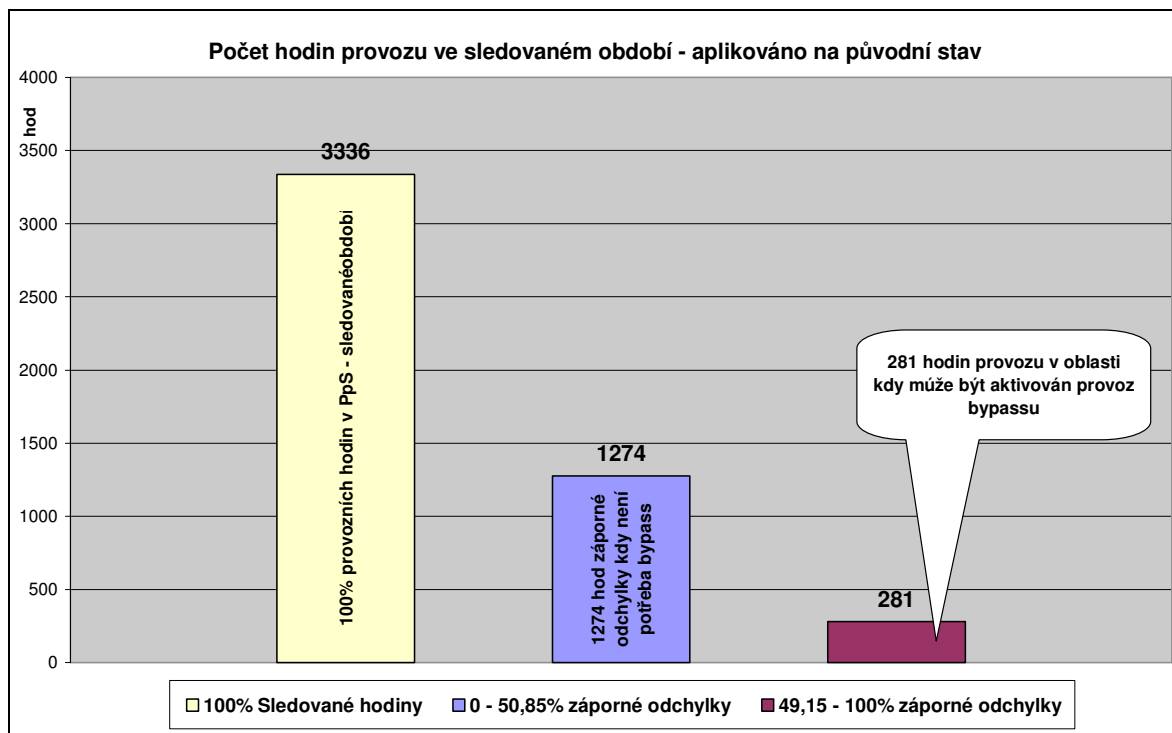
$$I_{\% \text{BYPASS, st}} = \frac{T_{281}}{T_{3336}} \cdot 100 = \frac{281}{3336} \cdot 100 = 8,4 \quad [\%] \quad (5.4.)$$

Kde T_{281} hodiny provozu bypassu [hod]

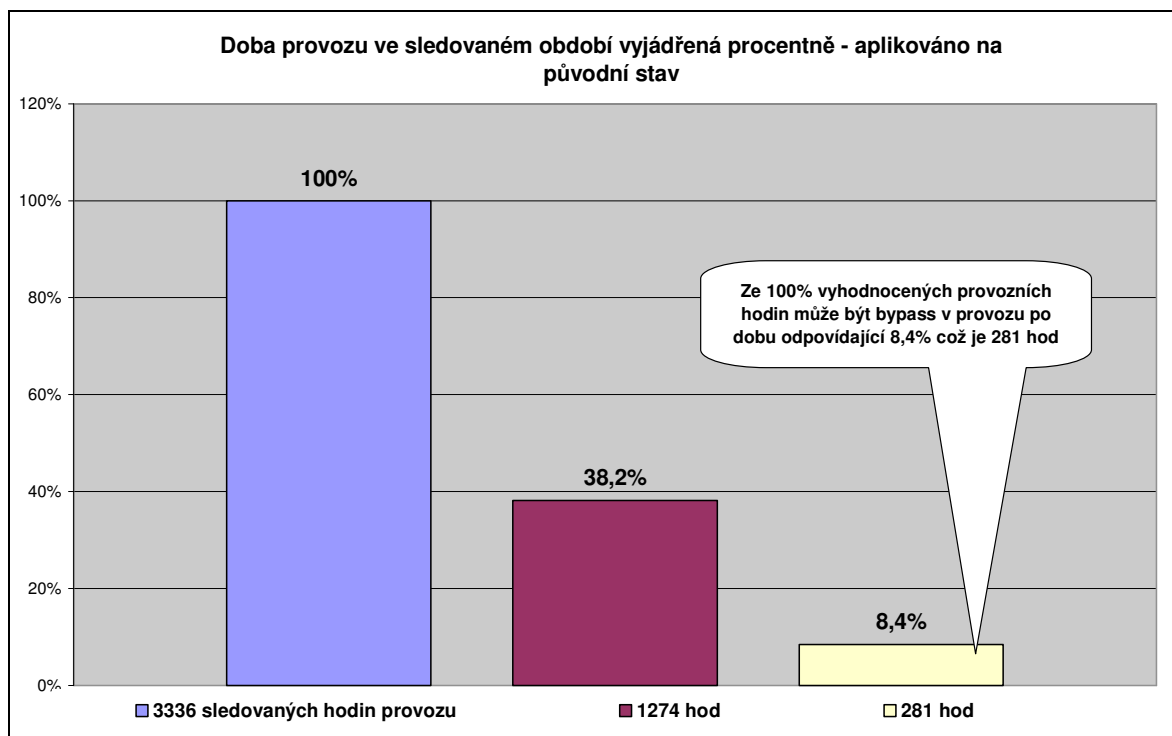
T_{3336} hodiny za sledované období květen až září [hod]

$I_{\% \text{BYPASS, st}}$ procento provozu bypassu za sledované období [%]

Z výpočtu vyplývá, že pokud by bylo potřeba provozu bypassové stanice, tak se její využití pohybuje v oblasti 8,4% provozní doby poskytovaných služeb. Graficky jsou tyto údaje znázorněny na obrázku č.5.5. Lze předpokládat, že vypočtené procento provozní doby s bypassem bude stejné i s novým rozšířeným pásmem regulace PpS.



Obrázek 5.4. členění provozních hodin aplikován na současný stav

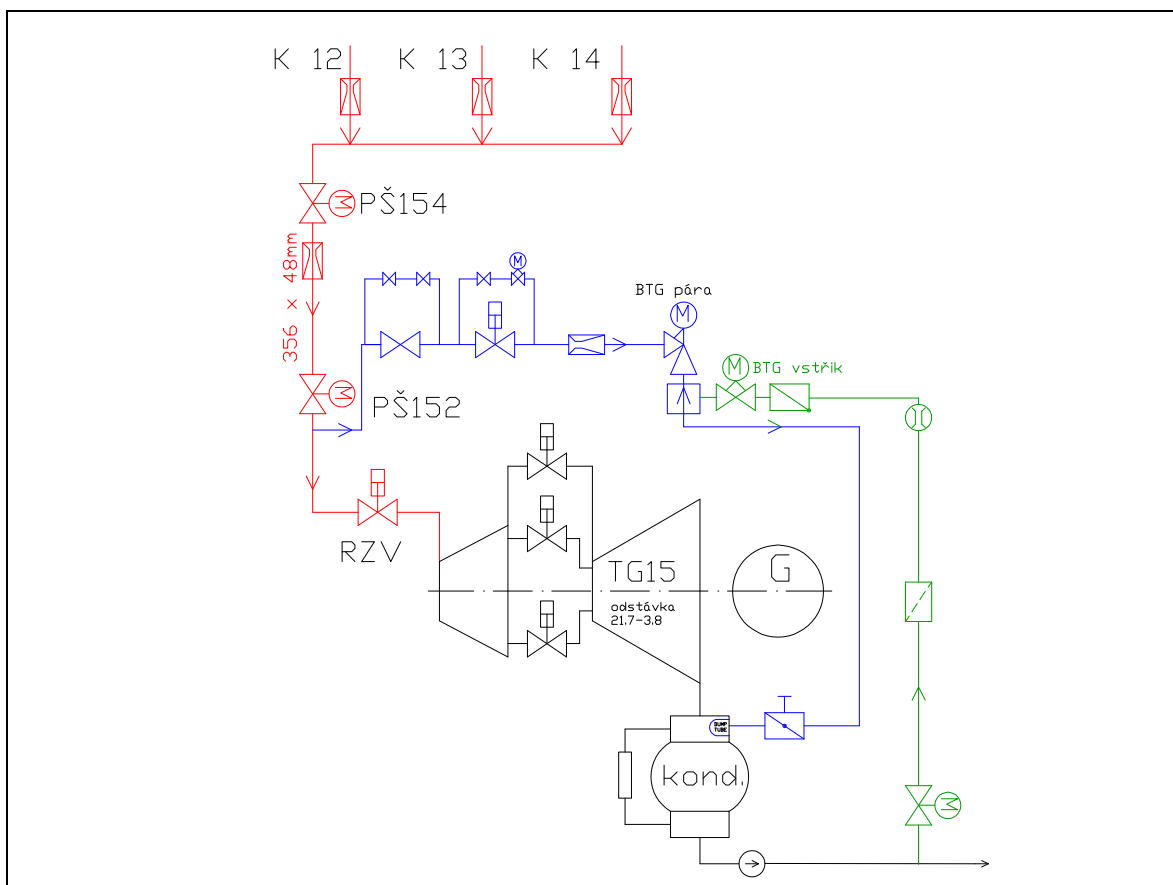


Obrázek 5.5. Procentní vyjádření provozu bypassu aplikováno na současný stav

6 Návrh bypassové stanice ^[8]

Ve výjimečných stavech dochází k poklesu výkonu parních turbín nebo redukčních stanic pod hranici minima na kotlích. V těchto situacích topiči zachraňují cirkulační množství řízeným odpouštěním páry do atmosféry přes tzv. polnici. Tento způsob regulace výkonu parního kotle způsobuje ztrátu napájecí vody a kotel při řízeném odfuku je v nestandardním provozu.

Navrhovaná bypassová stanice, jejíž schéma je na obrázku č. 6.12., bude odebírat VT páru z přívodního parovodu pro TG. Pro zachování bezpečnostní ochranné funkce na TG bude napojení bypassové stanice před rychlozávěrnou armaturou parní turbíny. Za tímto napojením bude instalována ruční uzavírací armatura. Na ruční uzavírací armaturu bude navazovat uzavírací šoupátko s pneumatickým pohonem s funkcí rychlého uzavření jako ochranná funkce. Následuje měření množství páry vstupující do bypassové stanice s měřením tlaku a teploty. Za průtokoměrem se bude nacházet srdce celé stanice a to BTG redukční ventil (viz příloha č.1). Jedná se o jednostupňový redukční ventil se zchlazovací stanicí od Švédského výrobce CCI Valve Technology AB. Tento ventil má za povinnost provést redukci páry z tlaku 10,8 MPa na tlak 0,3 MPa. Na výstupu z BTG ventilu je jako jeho součást zchlazovací stanice, jejímž úkolem je ochlazení páry na cca 135°C. Expanzí páry za BTG ventilem dojde k nárůstu objemu páry a tudíž i rozměr výstupního potrubí musí odpovídat této expanzi.



Obrázek 6.12. Návrh bypassové stanice schématicky

Pro bezpečné odstavení a zajištění bypassové stanice od ostatní technologie je před kondenzátorem osazena uzavírací klapka. Celá sestava bypassové stanice je ukončena v kondenzátoru a to speciálním děrovaným válcem tzv. Dump-Tube (viz příloha č.2). Dump-Tube je opět výrobek Švédské firmy CCI Valve Technology AB. Dump-Tube má za povinnost rozpráshit páru v prostoru kondenzátoru tak, aby nedošlo k poškození trubek nebo vestavby kondenzátoru.

Navrhovaná bypassová stanice bude provozována jako pomocný prvek k zachování cirkulačního množství na parních kotlích. Její provoz nesmí ovlivnit samotný provoz TG a kvalitu poskytovaných podpurných služeb nebo provoz parních kotlů. Provoz bypassové stanice musí být plně automatický bez nutnosti zásahu operátora. Regulace bypassové stanice musí zajistit plynulé přepouštění páry mimo TG v závislosti na množství páry vystupující z kotlů.

Ovládání a řízení bypassové stanice bude ze stávajícího operátorského pracoviště příslušné parní turbíny. Navržené a odsouhlasené algoritmy budou implementovány do nadřazeného systému řízení parní turbíny METSO DNA. Tento nadřazený řídicí systém zajišťuje vizualizaci a ovládání jednotlivých akčních prvků na samotné turbíně. Přes vizualizaci na nadřazeném řídicím systému METSO DNA má operátor dokonalý přehled o okamžitém stavu turbíny a může v reálném čase provádět korekce na zařízení.

Navrhované řešení jsem konzultoval se zástupci výrobce parní turbíny firmou Škoda Power. Dle vyjádření výrobce parní turbíny musí být výstupní hrdlo a poslední řada rotorových lopatek chráněna proti nadměrnému přetížení vlivem provozu bypassové stanice. Na základě jejich zkušeností a následných výpočtů může při určitých provozních stavech docházet k nežádoucím ventilačním ztrátám, které je nutné eliminovat.

Ventilační ztráty vznikají převážně na posledních stupních parní turbíny. Je to děj, kdy množství páry proudící přes turbínový stupeň je velice malé, nebo není žádné. Při tomto stavu se přestane odvádět teplo vzniklé třením lopatek o proudící médium a současně toto médium začne klást odpor rotujícím lopatkám, které jsou brzděny. Ztrátový výkon vzniklý tímto jevem zhoršuje účinnost turbogenerátoru a uvolněné teplo třením lopatek může trvale poškodit samotné lopatky nebo teplotně deformovat výstupní hrdlo turbíny. Může vést až k havárii turbogenerátoru.

6.1 Způsob vyhodnocení ventilačních ztrát

Vyhodnocováním ventilačních ztrát předcházíme poškození TG. Při nízkých výkonech a vyšší teplotě chladicí vody přes kondenzátor dochází k zhoršování tlaku vakua. Tento jev jde proti provozu bypassové stanice. Z pohledu provozování bypassové stanice je vyhodnocování ventilačních ztrát jistota bezproblémového provozu TG bez nutnosti zvyšování výkonu nebo uzavírání odběrové páry k udržení tlaku vakua a teploty výstupního hrdla turbíny. Je nutné mít na paměti, že prioritou je poskytování podpůrných služeb v plném rozsahu a provoz bypassové stanice nesmí tuto regulaci omezovat.

Návrh způsobu výpočtu a řízení ventilačních ztrát je vypracovaný pracovníky výrobce parní turbíny. Před odsouhlasením implementace výpočtu ventilačních ztrát do algoritmu bypassové stanice proběhne ověřovací měření. Toto měření ověří správnost výpočtu a definování fyzikálních veličin pro vyhodnocení ventilačních ztrát.

Ventilační ztráty se budou vyhodnocovat:

- **Z hodnoty měřeného vakua** – správnost měřené hodnoty vakua bude kontrolována nepřímým porovnáváním s teplotou na výstupu z NT dílu a teplotami vstupu a výstupu chladicí vody z kondenzátoru.
- **Z výpočtu průtoku přes poslední stupeň TG** – tento způsob je složitější a je popsán v následující kapitole.

6.1.1 Průtok přes poslední stupeň turbíny ^[9]

Průtok přes poslední stupeň turbíny bude vyhodnocován nepřímým měřením. Způsob výpočtu (viz. vzorec č.6.1) navrhli pracovníci v oddělení tepelných výpočtů parních

turbín firmy Škoda Power. Jelikož měření průtoku přes kterýkoliv stupeň turbíny je konstrukčně a technicky zatím nemožné, musí se k průtoku dojít pomocnými výpočty.

Jedna z hlavních veličin měřená kontinuálně na parní turbíně je tlak v 1.odběru. Jedná se o měření tlaku, které je nejbližší k poslednímu stupni. Odběrné místo tlaku je těsně pod spodním tělesem turbíny na potrubí páry 1.odběru, které je osazeno snímačem tlaku typu Rosemount v provedení pro absolutní a relativní tlak (přetlak nebo podtlak). Snímač převádí tlak měřeného média na elektrický signál, který je pak zaveden do řídicího systému turbíny.

Výpočet průtoku páry přes poslední stupeň turbíny se řídí následujícím vzorcem:

$$Q_{-K} = K \cdot p_{ODB1} \quad [\text{kPa}_{\text{abs}}] \quad (6.1.)$$

Kde. Q_{ST}průtok přes poslední stupeň turbíny [t/h]

K korekční konstanta [-]

p_{ODB1} tlak v odběru č.1 [kPa_{abs}]

Hodnoty korekčních konstant byly stanoveny na základě modelového výpočtu v oddělení tepelných výpočtů parních turbín firmy Škoda Power. Jelikož nejsou TG15 a TG16 turbíny zcela identické, byly korekční konstanty vypočteny jednotlivě pro každou z nich.

Pro TG15 byla stanovena korekční konstanta $K = 1,810$

Pro TG16 byla stanovena korekční konstanta $K = 2,008$

6.1.2 Algoritmus ventilačních ztrát

Do algoritmu omezení provozu bypassové stanice budou implementovány následující omezení z výpočtu ventilačních ztrát. Výpočet udává ztrátový výkon v kW.

Algoritmus vyhodnocuje ventilační ztráty ve 4 pásmech. Ke každému pásmu ztrátového výkonu jsou stanoveny maximální provozní hodiny. Tyto hodiny se načítají v řídicím systému parní turbíny a při jejich překročení je bypassová stanice odstavena a řídicí systém v rámci ochrany turbíny nedovolí její používání v konkrétním pásmu. Pro obraznost jsou povolené časy provozu při jednotlivých ventilačních výkonech stanoveny takto:

0-250 kW	-maximálně 25 000 provozních hodin za životnost stroje
	- maximálně 2 750 provozních hodin v průběhu každého roku
250-500 kW	- maximálně 20 000 provozních hodin za životnost stroje
	- maximálně 2 500 provozních hodin v průběhu každého roku

500-750 kW	<ul style="list-style-type: none"> - maximálně 15 000 provozních hodin za životnost stroje - maximálně 1 500 provozních hodin v průběhu každého roku
750-1000kW	<ul style="list-style-type: none"> - maximálně 10 000 provozních hodin za životnost stroje - maximálně 1 000 provozních hodin v průběhu každého roku
> 1 000 kW	<ul style="list-style-type: none"> - maximálně 2 provozních hodin po dobu konkrétního případu - maximálně 100 provozních hodin v průběhu každého roku

7 Konstrukční řešení navrženého bypassu ^[5]

Návrh způsobu připojení na parovod k TG a napojení na kondenzátor jsem volil velice obezřetně s ohledem na skutečnost, že turbogenerátor včetně kondenzátoru nebyl konstruován na společné provozování s bypassovou stanicí. Schématicky je napojení vyobrazeno v příloze č.4.

Jednotlivé konstrukční prvky jsem volil ze standardních a osvědčených aplikací na již provozovaných bypassových stanicích.

Bypassová stanice je sestava skládající se z několika komponent, které na sebe bezpodmínečně navazují.

Hlavní části jsou:

- vysokotlaký parovod
- redukční a zchlazovací stanice BTG
- výstupní parovod redukované páry
- zaústění do kondenzátoru
- přívod chladící vody.
- měření množství, tlaků a teplot

7.1 VT parovod bypassové stanice

Vysokotlaký parovod musí zajistit přenesení požadovaného průtoku přehřáté páry do místa její redukce. V kapitole 5.1. byl definován potřebný přenášený výkon. Z důvodu zajištění určité výkonové rezervy jsem pro výpočet vysokotlakého parovodu volil průtok přehřáté 60 t/h (16,67 kg/s) o teplotě 530 °C a tlaku 10,8 MPa. Tento parovod je přivařen k hlavnímu parovodu pro turbínu v místě před zychlozávěrným ventilem.

Pro bezpečné zajištění do opravy je parovod bypassu osazen ručním uzavíracím šoupátkem. Pro zajištění funkce rychlého uzavření páry do bypassové stanice je na parovodu osazena armatura s pneumatickým pohonem, která v případě překročení havarijních mezí uzavře přívod páry do stanice. Na přívodním parovodu je instalováno měření průtoku, teploty a tlaku.

7.2 Redukční a zchlazovací stanice BTG

K redukování páry jsem použil osvědčenou redukční a zchlazovací stanici od firmy BTG Valves Švédského výrobce CCI Valve Technology AB. Její konstrukce umožňuje

současnou redukci tlaku a zchlazování výstupní páry na potřebnou teplotu. Armatura má dvě fáze. První část provede redukci tlaku páry z 10,8 MPa na tlak 0,3 MPa. Druhá část stanice BTG provede ochlazení redukované páry na teplotu 135°C. Pro správnou funkci chlazení potřebuji znát množství zástřikové vody. To zjistím následujícím postupem.

Nejprve vypočtu, jaký chladicí výkon je potřebný pro ochlazení páry z 530°C na 135°C .

$$Q_2 = m_1 \cdot (i_1 - i_3) \quad [\text{kW}] \quad (7.4.)$$

Kde. Q_2 výkon potřebný pro chlazení BTG [kW]

m_1 hmotnostní průtok páry před BTG [kg/s]

i_1 entalpie páry před BTG [kJ/kg]

i_3 entalpie páry za BTG [kJ/kg]

$$Q_2 = m_1 \cdot (i_1 - i_3) = 16,67 \cdot (3551,12 - 2728,33) = 13713,18 \quad [\text{kW}] \quad (7.5.)$$

Chladicí výkon redukční a chladicí stanice BTG je 13,7 MW.

Z vypočteného chladicího výkonu redukční a zchlazovací stanice BTG vypočtu potřebné množství zástřikové vody.

$$m_2 = \frac{Q_2}{i_3 - i_2} \quad [\text{kg/s}] \quad (7.6.)$$

Kde. m_2 výkon na vstupu do BTG [kg/s]

i_2 entalpie nástřikové vody [kJ/kg]

i_3 entalpie páry za stanicí BTG [kJ/kg]

$$m_2 = \frac{Q_2}{i_3 - i_2} = \frac{13713,18}{2728,33 - 210,27} = 5,45 \quad [\text{kg/s}] \quad (7.7.)$$

Pro ochlazení vstupní páry o teplotě 530°C je zapotřebí 19,61 t/h vody z výtlačku kondenzátních čerpadel turbíny.

7.3 Zaústění páry stanice BTG do kondenzátoru

Kondenzátor parní turbíny je velice citlivé zařízení vzhledem ke své konstrukci a způsobu využívání. Zaústění bypassové stanice do kondenzátoru musí být do parního prostoru nad trubkovnicí. Instalace bypassových stanic u nových strojů již počítá s jeho umístěním a konstruktéři kondenzátorů jej dimenzují na požadované parametry redukované páry.

Parní turbíny TG15 a TG16 byly konstruovány jako kondenzační odběrové turbíny. Tudíž i kondenzátory těchto turbín jsou projektovány pouze na páru, která projde průtočnou částí. Z důvodu těchto poznatků a skutečností bylo nutné oslovit výrobce turbíny firmu Škoda Power a požádat ji o stanovisko. Výrobce provedl přepočty kondenzátoru a poslední řady NT rotorových lopatek na zvýšenou zátěž. Z těchto výpočtů konstatoval, že napojení bypassové stanice je možné. Zároveň definoval způsob napojení na kondenzátor a stanovil podmínky provozu bypassové stanice při provozu turbíny.

Pára do kondenzátoru z bypassové stanice nesmí výrazně zvyšovat teploty výstupního hrdla turbíny do kondenzátoru. Nesmí poškodit vestavbu kondenzátoru nebo samotné trubky kondenzátoru. Tyto podmínky musí zaručit dokonalé a rovnoměrné rozprášení proudu páry z bypassové stanice v prostoru nad trubkovnicí kondenzátoru.

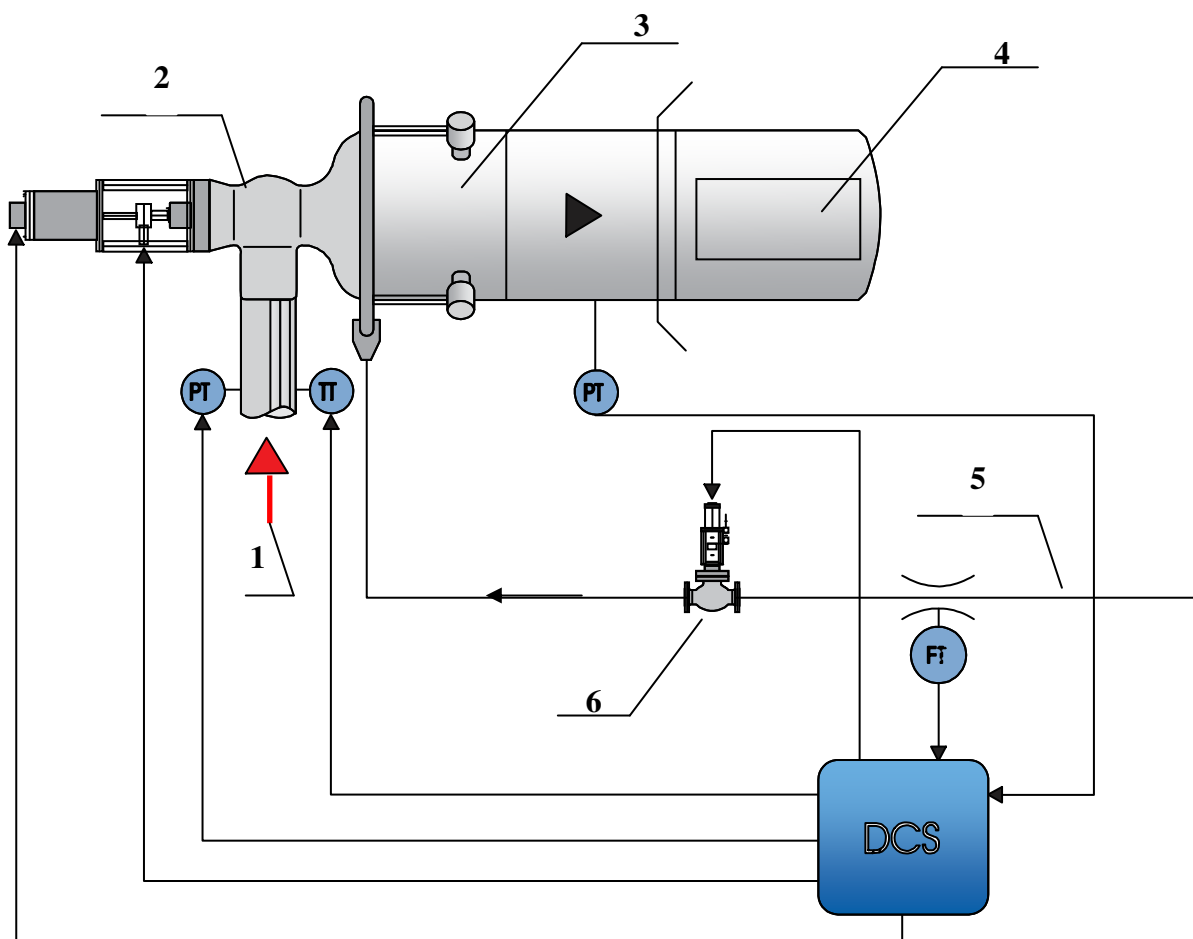
K rozprášení slouží poslední díl bypassové stanice nazvaný Dump-Tube, znázorněný na obrázku č.7.9. pozice č.4. Jedná se o uzavřený válec, který je opatřen přesně definovaným počtem a velikostí otvorů. Tyto otvory jsou napočítány tak, aby dokázaly vytvořit ve výstupním potrubí za BTG stanicí potřebný přetlak. Z důvodu ochrany trubek kondenzátoru jsou otvory provedeny pouze na protilehlých čtvrtinách válce Dump-Tube. Schématicky je Dump-Tube vyobrazen v příloze č.2. Dump-tube je k plášti kondenzátoru přivařen a tvoří s pláštěm kondenzátoru jeden hermeticky uzavřený celek.

7.4 Popis stanice BTG

Vzhledem k tomu, že parametry páry za BTG ventilem ovlivňují provoz kondenzace parní turbíny, byly parametry páry za BTG ventilem konzultovány s oddělením kondenzace výrobce parní turbíny firmou Škoda Power. I když výkres BTG ventilu se zchlazovací stanicí je v příloze č.1., je na obrázku č.7.9. znázorněn princip fungování této stanice. Vysokotlaká pára (1) o tlaku (PT) a teplotě (TT) vstupuje do tělesa regulačního ventilu BTG. Regulační ventil (2) sníží tlak páry na požadovaný parametr. Bezprostředně za regulačním ventilem je zchlazovací sekce (3), která ochladí redukovanou páru na potřebnou teplotu pro vstup do kondenzátoru turbíny. Pro zchlazování je použitý kondenzát (5) z turbíny odebraný přímo z výtlačku kondenzačních čerpadel. Množství zástřikové vody je řízeno regulačním ventilem (6). Algoritmus řízení redukce a zchlazování celé stanice je řešen pomocí nadřazeného systému (na obrázku znázorněn jako DCS). Řízenou veličinou je tlak páry za stanicí (PT). Na výstupu z redukční a zchlazovací stanice BTG (4) jsou parametry páry na mezi sytosti. Tato skutečnost nedovoluje řídit množství zástřikové vody podle výstupní teploty. Proto je do řídicího systému stanice nakonfigurovaná výkonová charakteristika regulačního ventilu (vazba průtoku vody na procento otevření ventilu) a pomocí bilancí páry na vstupu do stanice a

tlaku páry na výstupu ze stanice je vyhodnocováno množství zástřikové vody. Pro kontrolu je tento údaj porovnáván s průtokoměrem na potrubí zástřikové vody (FT).

Koncovou část BTG stanice (4) tvoří děrovaný válec tzv. Dump-Tube, který je zapuštěn do parního prostoru kondenzátoru. Těsnost vakuového systému zaručuje svarové napojení na plášť kondenzátoru.



Obrázek 7.2. funkce BTG ventilu

7.5 Přívod chladicí vody

Chladicí voda pro redukční zchlazovací stanici BTG slouží k ochlazení redukované páry na požadovanou teplotu. Jako jedno z možných médií jsem si vybral kondenzát turbíny. Napojovací místo je přímo na výtlačném potrubí kondenzátních čerpadel. Potrubí bude osazené měřením průtoku, tlaku a teploty. Pro řízené množství zástřikové vody do stanice je před zchlazovací sekci BTG nainstalován regulační ventil s elektro pohonem.

8 Parametry a materiál bypassové stanice ^[5]

Volba materiálu pro bypassovou stanici je velice důležitá. Bezpečnost a spolehlivost tohoto zařízení je prvořadý cíl, od kterého se odvíjí konstrukce celého systému.

8.1 Potrubí před BTG ventilem

Parametry páry před BTG ventilem jsou dány parametry VT páry pro samotnou parní turbínu. Z těchto parametrů jsem volil i materiál vysokotlakého parního potrubí před BTG ventilem.

Jmenovitá teplota..... 530 °C

Jmenovitý tlak..... 10,8 MPa

Potrubí DN 125 139,7 x 17,5 mm, mat.15 128.5

Na základě zadaných parametrů jsem vypočítal potřebný průměr parního potrubí podle následujících vzorců:

$$Q = v \cdot S \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.1.)$$

Kde. Qprůtok bypassem [m³/s]

v rychlost proudění [m/s]

Sprůřez potrubí [m²]

Doporučené rychlost páry v potrubí před je 50 m/s. Volil jsem rychlost 45m/s.

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{0,525}{45} = 0,011671 \quad [\text{m}^2] \quad (8.2.)$$

Vypočtený průřez převedu na požadovaný průměr potrubí:

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,011671 \cdot 4}{3,14}} = 0,122 \quad [\text{m}] \quad (8.3.)$$

Kde. D.....vnitřní průměr potrubí [m]

Na základě vypočteného průřezu jsem dle ČSN 13 0015 zvolil nejbližší větší průměr potrubí. Pro přenesení 60 t/h přehřáté páry o teplotě 530 °C a tlaku 10,8 MPa použiji potrubí DN 125 o rozměrech 139,7 x 17,5 mm. Jelikož přívodní parovod k turbínám je vyroben z materiálu třídy 15 128.5 použiji na přívodní parovod k BTG ventilu také materiál třídy 15 128.5. Tímto krokem zajistím dokonalou svařitelnost obou materiálů.

8.2 Redukční a zchlazovací stanice BTG

Materiál a parametry BTG ventilu (viz.příloha č.4) byly navrženy na konkrétní požadavky, které specifikoval výrobce parní turbíny. Samotná stanice je výrobek Švédské firmy CCI Valve Technology AB. Celá stanice a především redukční BTG ventil je za provozu vystaven velkému teplotnímu namáhání. Pro eliminaci těchto sil určuje výrobce podmínky teplotních nárůstu. Za provozu musí být stanice BTG trvale udržovaná v prohřátém stavu. Dle výrobce je možné otevřít redukční ventil v případě, když rozdíl teploty tělesa ventilu a páry do něj vstupující nebude větší než 100°C. Tento stav je možný díky speciálnímu vývodu páry z tělesa ventilu, který je zaústěn do expandéru kondenzátu turbíny.

Materiál vstupní části 10CrMo4-5

Materiál výstupní části (chladič) 13CrMo4-5

8.3 Potrubí za redukční a zchlazovací stanicí BTG

Výstupní potrubí ze stanice BTG není namáháno vysokými tlaky ani teplotami. Na základě výstupních parametrů jsem volil materiál tohoto potrubí.

Jmenovitá teplota..... 135 °C

Jmenovitý přetlak..... 0,4MPa(abs)

Potrubí DN 400 406,4 x 8,8 mm, mat.13CrMo4-5

Dump-tube 406,4 x 9,9 mm, mat.13CrMo4-5

Na základě zadaných parametrů jsem vypočítal potřebný průměr výstupního parního potrubí podle následujících vzorců:

$$Q = v \cdot S \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.4.)$$

Kde. Qprůtok bypassem [m³/s]

v rychlost proudění [m/s]

Sprůřez potrubí [m²]

Doporučené rychlost páry v potrubí před je 50 m/s. Volil jsem rychlost 50m/s.

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{13,84}{50} = 0,2768 \quad [\text{m}^2] \quad (8.5.)$$

Vypočtený průřez převedu na požadovaný průměr potrubí:

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0,2768 \cdot 4}{3,14}} = 0,5939 \quad [\text{m}] \quad (8.6.)$$

Kde. D.....vnitřní průměr potrubí [m]

Na základě vypočteného průřezu je dle ČSN 13 0015 zvolen nejbližší větší průměr potrubí. Pro přenesení 79,6 t/h páry o teplotě 135 °C a tlaku 0,3 MPa by bylo vhodné použít potrubí DN 600 mm. Jelikož se jedná o instalaci nové technologie do již stávajícího provozu, je prostorově velice problematické instalovat potrubí těchto rozměrů. Jako kompromis jsem volil dimenzi potrubí DN 400 o rozměrech 406,4 x 8,8 mm, mat.13CrMo4-5.

Jsem si vědom, že tento kompromis je na úkor vyšší rychlosti proudění páry v potrubí a možnému rychlejšímu opotřebení.

Rychlost páry v potrubí DN 400 bude:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{13,84}{0,2768} = 110 \quad [\text{m/s}] \quad (8.7.)$$

8.4 Potrubí zástřikové vody

Pro ochlazení páry v redukční a zchlazovací stanici BTG je nutné zajistit zástřikovou vodu. Tuto vodu přivedu z výtlačku kondenzátních čerpadel turbíny.

Jmenovitá teplota..... 35 °C

Jmenovitý tlak..... 1,0 MPa

Potrubí DN 40 48,3 x 4,5 mm, mat.11 353.1

Na základě zadaných parametrů jsem vypočítal potřebný průměr parního potrubí podle následujících vzorců:

$$Q = v \cdot S \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.8)$$

Kde. Qprůtok bypassem [m³/s]

v rychlost proudění [m/s]

Sprůřez potrubí [m²]

Pro volbu průměru potrubí jsem volil rychlost 5m/s.

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{0,005512}{5} = 0,001102 \quad [\text{m}^2] \quad (8.9)$$

Vypočtený průřez převedu na požadovaný průměr potrubí:

$$D = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,001102 \cdot 4}{3,14}} = 0,037475 \quad [\text{m}] \quad (8.10.)$$

Kde. D.....vnitřní průměr potrubí [m]

Na základě vypočteného průřezu jsem dle ČSN 13 0015 zvolil nejbližší větší průměr potrubí. Pro přenesení 19,61 t/h kondenzátu o teplotě 50 °C a tlaku 1 MPa použiji potrubí DN 40 o rozměrech 48,3 x 4,5 mm, mat.11 353.1.

9 Návrh způsobu měření bypassové stanice ^[4]

Vysokotlaká pára je velice nákladně vyrobená energie. Princip provozování bypassové stanice je vlastně maření vysokotlaké páry. Páru o teplotě 530°C a tlaku 10,8 MPa pomocí redukčního ventilu seškrtneme na tlak 0,3MPa a ochladíme zástříkem na teplotu 135°C. Veškeré maření dokončíme v kondenzátoru turbíny kde získáme kondenzát o teplotě 35°C.

Provoz bypassové stanice má veliký vliv na samotný provoz turbíny, proto je nutné celou stanici co nejlépe řídit a vyhodnocovat. Jednou z možností je vybudování měření průtoku vstupní páry na parovodu před BTG ventilem. Přesnost tohoto měření musí zajistit spolehlivé informace pro algoritmy řídicího systému a bilanční vyhodnocení celého bloku.

Vzhledem k parametrům média jsem volil podle doporučení normy ČSN EN ISO 5167 měřící trať definovanou měřící dýzou ISA 1932.

ČSN EN ISO 5167 sestávající ze čtyř částí obsahuje geometrii a způsob užití dýz a Venturiho trubic, které jsou vloženy do potrubí, jehož průřez je proudem zcela zaplněn, za účelem stanovení průtoku tekutiny, proudící potrubím. Podává také informace, potřebné pro výpočet průtoku a s ním spojené nejistoty.

Znění normy ČSN EN ISO 5167 jsou použitelné pouze pro snímače diferenčního tlaku, u nichž průtok v celém měřicím průřezu zůstává podzvukový a ustálený nebo jen pomalu v čase proměnlivý, a kde může být tekutina pokládána za jednofázovou, ale není použitelná při měření pulzujícího průtoku. Kromě toho, každý z těchto snímačů se může použít jen v určitých mezích velikosti potrubí a Reynoldsova čísla.

Prvky, vložené do potrubí, se nazývají „primární prvky“. Termín primární prvek zahrnuje také odběry tlaku. Všechny ostatní prvky nebo zařízení potřebné pro měření jsou známé jako „sekundární prvky“. ČSN EN ISO 5167 obsahuje primární prvky a sekundární prvky jsou zmíněny pouze příležitostně.

Princip metody měření spočívá v zabudování dýzy do potrubí, v němž plným průřezem protéká tekutina. Zabudování primárního prvku způsobí rozdíl statických tlaků mezi přední stranou a hrdlem. Průtok je stanoven z naměřených hodnot tohoto tlakového rozdílu a ze znalosti vlastností proudící tekutiny, jakož i z okolností, za nichž je prvek použit. Předpokládá se, že prvek je geometricky podobný prvku, který byl kalibrován, a že podmínky použití jsou stejné, tj. ve shodě s částí ČSN EN ISO 5167.

ISO je zkratka pro Mezinárodní federaci národních normalizačních společností (International Federation of the Standardizing Associations).

9.1 Měření tlaku ^[7]

Navržené bypassové stanice budou vybaveny snímači relativního a absolutního tlaku v potrubí na místech, kde je nutné sledovat a vyhodnocovat tlaky.

Na vstupním i výstupním potrubí z bypassové stanice budou instalovány snímače relativního a absolutního tlaku EMERSON typové řady Rosemount 2051T. Jedná se o snímače s přesností lepší než 0,25% z rozsahu a převodníky absolutního tlaku Rosemount s přesností lepší než 0,5% z rozsahu. Snímače převádějí tlak měřeného média na elektrický signál. Tyto tlaky jsou měřeny. Katalogový list snímače tlaku je přílohou č.3 této diplomové práce.

Seznam nových měření tlaků:

- Tlak pára před BTG ventilem
- Tlak ve výstupním parovodu za BTG
- Tlak nástřikové vody

Pro vyhodnocování tlaku vakua a tlaku v 1.odběru budou použity stávající měření.

Dále budou na bypassových stanicích instalovány diferenční snímače tlaku od fa.Yokogawa. Jedná se o vysoce výkonné snímače tlakové difference pro měření průtoků kapalin, plynů nebo páry. Výstupní signál od 4 do 20mA DC odpovídá naměřené tlakové diferenci. Tlakové difference jsou měřeny na provozních škrtících orgánech. Pro měření jsou použity převodníky tlakové difference Yokogawa s přesností lepší než 0,25 % z rozsahu.

9.2 Měření teploty ^[6]

Pro měření teplot na bypassových stanicích budou použity termoelektrické snímače teploty s převodníkem. Snímače budou dodány s převodníkem výstupního signálu na 4 až 20 mA zabudovaným do víčka hlavičky snímače. Pro měření teploty se využívá vzniku termoelektrického napětí, jehož velikost je závislá na rozdílu teplot měřicího konce a srovnávacích konců termočlánku. U snímačů s převodníkem se termoelektrické napětí dále převádí na unifikovaný linearizovaný proudový signál 4 až 20 mA. Měřicí rozsah se pohybuje v mezích 0 až +600 °C podle místa instalace. Snímače teploty osazené na bypassových stanicích budou vyrobeny v třídě přesnosti „1“, která se vyznačuje nepřesností $< \pm 1$ °C.

Seznam nových měření teplot:

- Teplota páry před BTG ventilem
- Teplota tělesa BTG ventilu

- Teplota výstupního parovodu za BTG

Ostatní měření teploty nutné pro provoz bypassových stanic budou použity stávající, které jsou již na turbíně instalovány.

9.3 Měření průtoku – dýza

Dýza je zařízení umožňující měření průtoku. Vzhledem ke své konstrukci lépe odolávají dlouhodobému namáhání vysokými teplotami a tlakem (vysokotlaká pára, napájecí voda). Vhodnost využití dýz je zejména na vysokotlaké straně kotelních systémů a rozvodů.

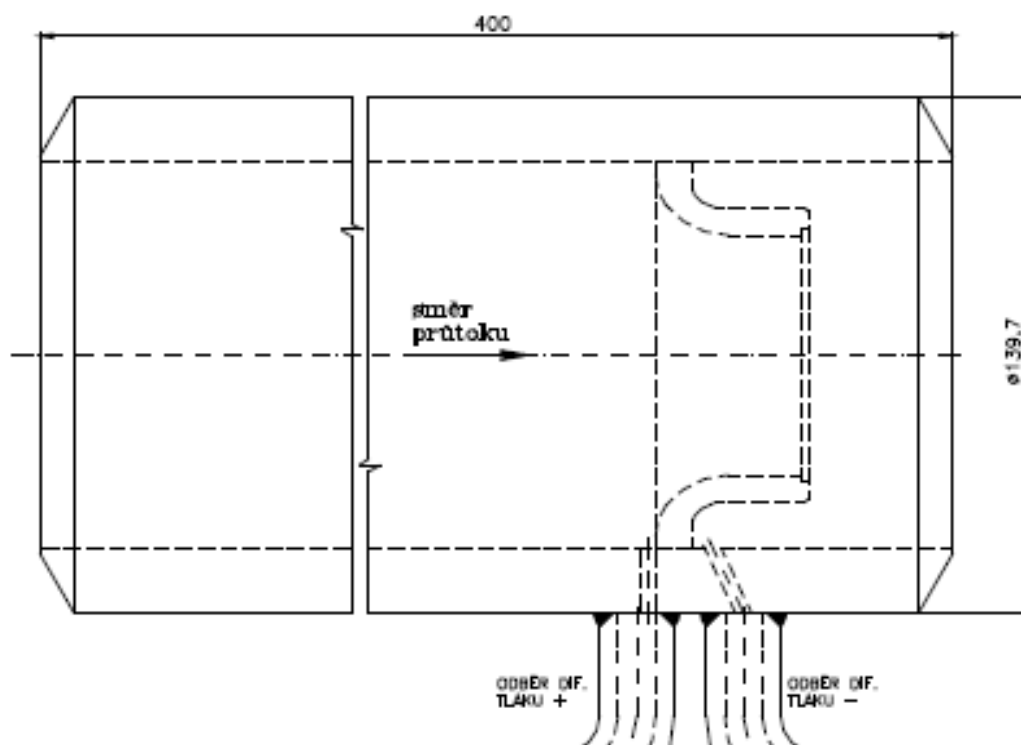
Dýza má zaoblenou vtokovou stranu a válcovitou výtokovou stranu (hrdlo). Vzhledem k tvaru vstupního profilu dochází k menšímu opotřebení a nižší tlakové ztrátě než u clon. Přesný profil vtokové strany tělesa dýzy je výpočtově definován normou ČSN EN ISO 5167. Proto je možno dýzu využít také pro fakturační účely jako stanovené měřidlo. Těleso dýzy je ve většině případů přivařeno do potrubí (vevařené provedení) a nebo může být vsazeno mezi příruby. Konstrukčně existují dva typy normovaných dýz – dýza ISA 1932 a dýza s dlouhým poloměrem.

Norma ISO 5167-3 definuje možnost použití dýzy ISA 1932 (viz obrázek č.9.1) pro průměry potrubí od 50 do 500 mm. Nejčastěji používané oceli pro výrobu dýz jsou žárovevné oceli (měření průtoku páry) a kombinace uhlíkové a nerez oceli (měření průtoku kapalin). Rozmezí použitelných ocelí pro výrobu dýz je natolik rozmanité a rychle se rozvíjející, že nejnovějšími kombinacemi pro páru jsou kombinace ocelí P91 resp. P92 a Wb 36 a oceli A105 pro vodu.

Vzhledem k médiu, které potřebuji měřit a bezpečnosti provozu, jsem volil typ dýzy ISA 1932 v provedení jako přivařovací. Schématicky je znázorněna dýza ISA 1932 na obrázku č.9.2.



Obrázek 9.1. Dýza ISO 1939 foto



Obrázek 9.2. schéma dózy ISA 1932

10 Návrh a výpočet měřící tratě ^[4]

Pro výpočet samotné dózy ISA 1932 jsem použil podklady a výpočtový program výrobce měřících tratí fa Matech. Princip metody měření spočívá v zabudování primárního prvku (clony, dózy nebo Venturiho trubice) do potrubí, v němž plným průřezem protéká tekutina. Zabudování primárního prvku způsobí rozdíl statických tlaků mezi přední stranou a hrdlem nebo zadní stranou primárního prvku. Průtok může být stanoven z naměřených hodnot tohoto tlakového rozdílu a ze znalostí vlastností proudící tekutiny, jakož i z okolností, za nichž je primární prvek použit.

Hmotnostní průtok může být stanoven, pokud se vztahuje k diferenčnímu tlaku v mezích nejistoty ISO 5167, užitím rovnice:

$$Q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot dp \cdot \rho} \quad [\text{kg/s}] \quad (10.1.)$$

Kde Q_mhmotnostní průtok [kg/s¹]

Csoučinitel průtoku [1]

β poměr průměrů $\beta = d/D$ [1]

εsoučinitel expanze [1]

d průměr otvoru hrdla za provozních podmínek [m]

dpdiferenční tlak [Pa]

ρ hustota tekutiny za provozních podmínek [kg/m³]

Vzorec pro výpočet hustoty a viskozity pro daný tlak a teplotu není součástí normy ČSN EN ISO 5167, ale patří mezi obecné postupy. Jelikož existuje několik vzorců, byl použit nejnovější, který je označován IAPWS-IF z roku 1997.

Za provozních podmínek může být použit vzorec:

$$Q_m = \frac{Q_m}{\rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (10.2.)$$

U průměru dýzy ISA 1932 „d“ a součinitele průtoku „ β “ je nutno uvažovat s teplotní roztažností materiálu tělesa a potrubí dle ČSN 415 128

$$dt = d_{20} \cdot (1 + I_1 \cdot (t - 20))$$

$$Dt = D_{20} \cdot (1 + I_2 \cdot (t - 20))$$

Kde: d_{20} , D_{20} rozměry tělesa a potrubí při teplotě 20 °C [m]

dt , Dt rozměry tělesa a potrubí při teplotě t [m]

I_1 součinitel lineární teplotní roztažnosti materiálu [1/K]

I_2 součinitel lineární teplotní roztažnosti materiálu [1/K]

10.1 Tlaková ztráta

Tlaková ztráta $\Delta \omega$ pro dýzu ISA 1932 je přibližně závislá na diferenčním tlaku Δp podle rovnice

$$\Delta \omega = \frac{\sqrt{1 - \beta^4} \cdot (1 - C^2) - C \cdot \beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4} \cdot (1 - C^2) + C \cdot \beta^2} \cdot \Delta p \quad [\text{kPa}] \quad (10.3.)$$

Kde: β poměr průměrů $\beta = d/D$ [1]

C součinitel průtoku [1]

Tato tlaková ztráta je rozdíl statického tlaku mezi tlakem měřeným u stěny na přední straně primárního prvku v průřezu, kde vliv dynamického tlaku na primární prvek je ještě zanedbatelný (přibližně D před primárním prvkem) a tlakem měřeným za primárním prvkem v místě, kde obnova statického tlaku expanzí proudu smí být považována již za

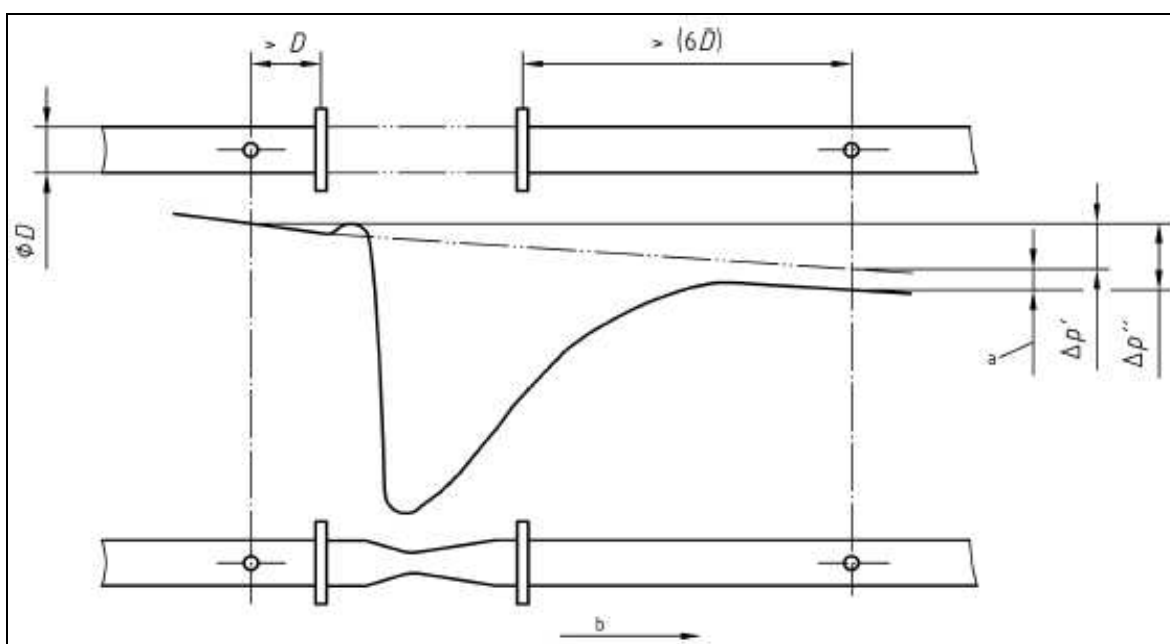
úplnou (přibližně 6D za primárním prvem). Průběh tlakové ztráty je znázorněn na obrázku č.10.1.

Součinitel tlakové ztráty K pro dýzu ISA 1932 je

$$K = \left(\frac{\sqrt{1 - \beta^4 \cdot (1 - C^2)}}{C \cdot \beta^2} - 1 \right)^2 \quad [-] \quad (10.4.)$$

kde K se určí rovnicí :

$$K = \frac{\Delta \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho_1 \cdot V^2} \quad [-] \quad (10.5.)$$



Obrázek 10.1. Průběh tlakové ztráty

10.2 Výpočet škrtícího orgánu - dýza ISA 1932 ^{[3][4]}

Ze zadaných vstupních parametrů jsem vypočítal rozměry dýzy. V současné době výrobci škrtících orgánů neradi dodávají pouze samotný škrtící orgán. Pro zajištění kvality montáže a dodržení jimi stanovených technologických postupů, dodávají škrtící orgán společně s jednotkovými délkami potrubí před a za. Tomuto uskupení se říká měřicí trať. Pro výpočet jsem použil program autorizovaného výrobce měřících tratí firmy Mattech. Dle výpočtu v kapitole 5.1 je potřebné množství průtoku přes jeden bypass 50 t/h páry. Pro možnosti zajištění určitého přetížení, jsem volil do zadávacích podmínek pro průtok přes měřicí trať 60 t/h přehřáté páry o teplotě 530 °C a tlaku 10,8 MPa.

10.3 Vstupní hodnoty

Primární prvek:	Dýza ISA 1932	
Norma.....	ČSN EN ISO 5167. 2003	
Tekutina.....	Přehřátá pára	
Teplota.....	530	[°C]
Tlak	10,8	[MPa]
Množství	60	[t/h]

10.4 Parametry před dýzou

Absolutní tlak	10,800	[MPa]
Minimální absolutní tlak.....	8,000	[MPa]
Teplota.....	530,000	[°C]
Hustota	31,466	[kg/m ³]
Izoentropický exponent	1,289	[-]
Dynamická viskozita	30,236x10 ⁻⁶	[Pa/s]
Kinematická viskozita.....	960,901x10 ⁻⁹	[m ² /s]
Entalpie.....	3,443x10 ⁺³	[kJ/kg]

10.5 Zadaná data pro výpočet „d“

D20 (pro 20 °C).....	104,700	[mm]
Součinitel tepelné roztažnosti .	14,190x10 ⁻⁶	[1/K]
Průtok	60,000	[t/h]
Diferenční tlak.....	380,000	[kPa]

10.6 Výsledné hodnoty

Poměr průměrů $\beta=d/D$	620,940x10 ⁻³	[-]
d20 (pro 20 °C)	65,012	[mm]
Trvalá tlaková ztráta.....	174,088	[kPa]
Absolutní tlak za PP	10,626	[MPa]
Rychlost v průřezu PP	161,346	[m/s]

Rychlost za PP	61,633	[m/s]
Entalpie.....	$3,443 \times 10^3$	[kJ/kg]
Tepelný tok	57,382	[MW]

10.7 Měření doprovodných veličin průtoku

Pro měření průtoku přes dýzy ISA 1932 je nutné zajistit spolehlivé snímání teploty proudícího média, tlaku v potrubí a měření diferenčních tlaků.

10.7.1 Měření teploty ^[6]

Přednost musí být dána měření teploty tekutiny za dýzou. Teploměřová jímka (nebo teploměr) musí zabírat co nejmenší prostor. Vzdálenost mezi jímkou a dýzou musí být nejméně 5D je-li jímka umístěna za primárním prvkem. V mezích použití této části ČSN EN ISO 5167 lze obecně předpokládat, že u odběrů diferenčního tlaku před a za primárním prvkem jsou teploty tekutiny stejné

Pro měření teploty jsem použil termoelektrický snímač teploty s převodníkem s rozsahem 0-600°C. Teploměřové čidlo je osazeno do teploměrné jímky zavařené na potrubí za měřením průtoku ve vzdálenosti minimálně 5D od dýzy (D = vnitřní průměr potrubí). Otvary pro návarky budou vrtané, protože vypálení autogenem vznikají uvnitř potrubí okuje, které zmenšují přesnost měření. Vrtáním magnetickou vrtačkou je také zajištěna tzv. čistá montáž.

Pro snímání teploty bude nainstalován snímač teploty termoelektrický s kovovou ochrannou trubicí s převodníkem typové řady 351. Jedná se o výrobek firmy ZPA Nová Paka, a.s. Katalogový list snímače teploty je přílohou č.1 této diplomové práce.

10.7.2 Měření diferenčního tlaku ^[7]

Snímače diferenčního tlaku by měly být umístěny těsně u dýzy, rychlost odezvy se zmenšuje, je-li impulsní potrubí dlouhé. Délka impulsního potrubí nesmí být větší než 16m. Obě impulsní trubky musí vést těsně vedle sebe, aby se zabránilo falešné tlakové diferenci způsobené rozdílem teplot. Vedení impulsních trubek by mělo být uspořádáno tak, aby sklon byl vždy větší než 1:12 tak, aby všechny vzduchové bubliny mohly stoupat k odvětrání a zkondenzované kapaliny nebo tuhé usazeniny mohly být svedeny do sběračů kondenzátů nebo vodních uzávěrů. Pro měření diferenčního tlaku na dýze ISA 1932 jsem použil diferenční snímač Rosemount 2051CD PK s ventilovou soupravou Parker od fa Yokogawa. Základní parametry diferenčního snímače Rosemount 2051CD PK jsou uvedeny v katalogovém listě, který je přílohou č.2 této diplomové práce.

10.8 Požadavky na zabudování do potrubí

Požadované minimální přímé délky jsou délky mezi různými tvarovkami umístěnými před nebo za primárním prvkem a samotným prvkem. Všechny přímé délky se musí měřit od přední strany primárního prvku. Požadované minimální délky přímého potrubí ve vazbě na prvky v potrubí a tvar potrubí podle skutečného umístění na stavbě jsou definovány v tabulce č.10.1.

Požadované minimální délky přímého potrubí:

pro $b = 0,621$	L_{\min}/D	L_{\min} mm	(L_{\min}/D)	$(L_{\min}$ mm)
před primárním prvkem				
Jednoduché koleno 90° nebo T kus (proud jen jednou větví)	19,7	2075	(9,84)	(1037)
Dvě nebo více kolen 90° v téže rovině	28,5	3007	(14,3)	(1503)
Dvě nebo více kolen 90° v různých rovinách	50,5	5327	(25,3)	(2663)
Zúžení potrubí z $2D$ na D v délce $1.5D$ až $3D$	9,84	1037	(5,42)	(571)
Rozšíření potrubí z $0.5D$ na D v délce D až $2D$	23,3	2453	(11,8)	(1248)
Zcela otevřený přímý ventil	26,8	2830	(13,4)	(1415)
Zcela otevřený kulový kohout nebo zcela otevřené šoupě	14,8	1565	(7,42)	(782)
Náhlé symetrické zúžení potrubí	30,0	3164	(15,0)	(1582)
Teploměřová jímka nebo trubice o průměru $\leq 0.03D$	5,00	527	(3,00)	(316)
Teploměřová jímka nebo trubice o průměru mezi $0.03D$ a $0.13D$	20,0	2109	(10,0)	(1055)
za primárním prvkem				
Tvarovky	7,00	738	(3,50)	(369)

Tabulka 10.1. minimální délky potrubí^[4]

10.9 Řízení bypassové stanice

Provoz bypassové stanice, jak jsem již uváděl výše, musí být plně automatický, bez významných zásahů operátora turbíny a nesmí omezovat provozování samotné turbíny nebo poskytování podpůrných služeb regulace sítě.

Všechny veličiny snímané na technologii bypassových stanic budou přivedeny do systému přímého řízení PRIMIS a vyvedeny do nadřazeného řídicího systému METSO DNA, který zajišťuje vizualizaci a ovládání jednotlivých akčních prvků na samotné turbíně. Přes vizualizaci na nadřazeném řídicím systému METSO DNA má operátor dokonalý přehled o okamžitém stavu zařízení a může v reálném čase provádět korekce.

Regulace bypassové stanice bude sledovat výkony na předvolených kotlích. V případě, že součet výkonů předvolených kotlů bude nižší než součet dovolených minimálních výkonů kotlů, začne regulační ventil BTG otevírat a přepouštět požadované množství páry do kondenzátoru. V případě výpadku turbíny dojde k automatickému odstavení celé technologie bypassové stanice.

10.9.1 Podmínky pro provoz bypassu

- Turbína v regulaci výkonu
- Otevřená armatura před kondenzátorem TG
- Otevřená pneumatická armatura VT páry
- Teplota tělesa BTG ventilu minimálně 430 °C
- Otevřená armatura na vstřikové vodě
- BTG a vstřikový ventil v automatickém provozu
- Tlak v kondenzátoru > -80 kPa
- Teplota v nástavbě kondenzátoru < 60 °C
- Tlak za BTG regulačním ventilem > 0,60 MPa
- Teplota páry za BTG regulačním ventilem < 180 °C
- Množství páry přes bypassové stanice < 55 t/h

10.9.2 Zásahy operátora TG a kotlů

- Operátor kotlů navolí příslušný počet provozovaných kotlů pro regulaci bypassové stanice, tím se navolí automaticky v řídicím systému minimální průtok páry hlídáné bypassovou stanicí (110 t/h pro jeden kotel, 220t/h pro

dva kotle a 330 t/h pro tři navolené kotle). Při dosažení výše uvedených minimálních hodnot množství začnou bypassy automaticky regulovat

- Operátor TG má možnost si navolit k výše uvedeným minimálním množstvím korekci od 0 do 20 t/h pro jednotlivé bypassové stanice (korekce slouží pro eventuální posunutí nebo rozvážení jednotlivých bypassových stanic dle provozních potřeb)
- Operátor má dále možnost ovládat parní regulační ventil v ručním režimu – při tomto ovládání působí všechny omezovací regulace ve směru zavírání BTG ventilu jako v automatickém režimu.

11 Technicko-ekonomické posouzení navržených úprav

Navržené úpravy parních turbín formou instalací dvou kusů bypassových stanic a jejich následné využití musí být finančně zajímavé pro investora. Investice tohoto rázu je nutné posoudit z pohledu návratnosti vynaložených prostředků. Pro návratnost investice jsem si určil dobu, která nesmí překročit 5 let. Doba návratnosti delší než 5 let přináší velké riziko návratnosti investice z pohledu prudce se vyvíjejícího trhu s elektřinou. Není zcela jisté, že výkupní ceny elektřiny v podpůrných službách budou stále na vysoké úrovni. Konkurence mezi výrobny, které jsou schopny poskytovat kvalitní podpůrné služby ve velkém regulačním rozsahu je stále větší. Trh s touto komoditou naznačuje klesající trend ve výši výkupní ceny poskytovaných podpůrných služeb pro stabilizaci elektrizační soustavy.

11.1 Přínos z využití vyššího regulačního rozsahu

Ze zpracovaných dat viz kapitola 5.2 je zřejmé, že provozování TG v krajní oblasti záporného pásma regulace je reálná v délce 3339 hod za rok.

Celkovou dobu, po kterou se turbína pohybuje v záporné regulační odchylce a bude nutné aktivovat provoz bypassové stanice, jsem z výpočtu historických dat stanovil na 8,4%.

Zároveň předpokládám, že rozšířením regulačního pásma z původních 89 MW na 118 MW tj. o 30 MW (+/- 15 MW) bude reálný průběh výkonu stejný a nedojde k nárůstu doby provozu v krajních mezích záporné regulační odchylky. Pro výpočet přínosu realizace bypassových stanic počítám s využitím 8,4% provozní doby v regulaci. Jelikož navržená bypassová stanice bude využívána pouze v záporném pásmu regulačního rozsahu, budu počítat se zvýšením rozsahu o 15MW pro PpS.

Předpokládaný přínos zvýšením regulačního rozsahu poskytovaných podpůrných služeb vypočtu podle následujícího vzorce:

$$P_{Kč} = P_{15MW} \cdot C_{PpS} \cdot \left(\frac{T_{PpS}}{100} \cdot T_{\%} \right) \quad [Kč] \quad (11.1.)$$

Kde:

$P_{Kč}$ přínos zvýšeného regulačního rozsahu [Kč]

T_{PpS} čas pro využití provozu bypassů [hod]

$T_{\%}$ procento využití bypassů [%]

P_{15MW}zvýšený výkon pro PpS [MW]

C_{PpS} předpokládaná cena za regulační práci [Kč/h]

Po dosažení dostaneme:

T_{PpS} 3 336 [hod]

$T_{\%}$ 8,4 [%]

P_{15MW} 15 [MW]

C_{PpS} 1 000 [Kč/h]

$$P_{Kč} = P_{15MW} \cdot C_{PpS} \cdot \left(\frac{T_{PpS}}{100} \cdot T_{\%} \right) = 15 \cdot 1000 \cdot \left(\frac{3336}{100} \cdot 8,4 \right) = 4\,203\,360 \text{ [Kč]}$$

Z výpočtu vyplývá, že při rozšíření pásma regulace pro poskytování podpůrných služeb je přínos 4 203 360,-Kč.

11.2 Náklady na realizaci bypassových stanic

Bypassová stanice je velice složité zařízení, které má velký vliv na samotný provoz turbíny. Mám na mysli především bezpečnostní riziko spojené s namáháním poslední řady rotorového NT lopatkování a kondenzátoru. Pro samotnou realizaci je nutné uvažovat se spolehlivým strojním zařízením, zařízením elektro a zařízením MaR včetně zapojení do řídicího systému parní turbíny, vytvoření spolehlivých algoritmů a v neposlední řadě zaškolení provozního personálu a pracovníků údržby.

Pro realizaci bypassových stanic jsem vycházel ze zkušeností technologů ETB, kteří se zabývají opravou, výměnou a instalací nových zařízení na VT parovodech. Zkušenosti a kontakty na výrobce parní turbíny fa Škodu Power jsem rovněž uplatnil v návrhu seznamu předpokládaného materiálu na realizaci. Viz. tabulka č.11.1.

Seznam materiálu - obtokování TG15 a TG 16				
Uzel	Materiál	Množství	ks,m,kg	Předpokládaná cena
Přívodní parovod	trubka 139,7 x 17,5	60	m	406 000 Kč
	trubka 48,3 x 6,3	6	m	30 000 Kč
	tr. ohyb 48,3 x 6,3 R-5DN 90 st.	5	ks	15 000 Kč
	trubka 48,3 x 4,5	36	m	60 000 Kč
	trubka 33,7 x 5,6	96	m	60 000 Kč
	trubka 21,3 x 4	60	m	45 000 Kč
	ohyb hladký R-5 DN, 90st. tr. 139,7x17,5	8	ks	40 000 Kč
	ohyb hladký R-5 DN, 30st. tr. 139,7x17,5	1	ks	5 000 Kč
	ohyb hladký R-5 DN, 60st. tr. 139,7x 7,5	1	ks	5 000 Kč
	ohyb hladký R-5DN, 90 st. tr. 48,3 x 4,5	8	ks	30 000 Kč
	přechod 139,7 x 17,5 /114 x 16	2	ks	17 000 Kč
Vstupní hlavní armatura	uzavírací šoupátko s pneupohonem DN 125 PN 250 /IX. st.	2	ks	1 200 000 Kč
Ochoz první	ventil uzavírací s elpohonem DN 40 PN 250 /IX. st.	2	ks	80 000 Kč
Ochoz druhý	ventil uzavírací s reg. kuželkou a elpohonem DN 40 PN 250/ IX. st.	2	ks	60 000 Kč
Měření tlaku	ventil uzavírací ruční DN 15 PN 250	4	ks	24 000 Kč
	DN 15 PN 40	4	ks	60 000 Kč
Měření průtoku	Dýza ISA 1932	2	ks	280 000 Kč
Odvodnění	ventil uzavírací ruční DN 25 PN 250	12	ks	240 000 Kč
Parní potrubí	odváděč GESTRA DN 25 PN 250	4	ks	80 000 Kč
Ventil BTG	regulační ventil DN 100 PN 250	2	ks	2 147 000 Kč
Ventil BTG	regulační ventil DN50 PN 10	2	ks	1 000 000 Kč
Výstup za BTG	trubka 406,4 x 8,8	24	m	130 000 Kč
Uzav. armatura kondenzátor	uzav. klapka DN 400 PN 16(25)	2	ks	120 000 Kč
	ruční s převodovkou			
	pára přetlak 4 bary			
Kondenzátor	Dump Tube DN 400 PN 4	2	ks	810 000 Kč
Prohřev BTG	ventil s regulační kuž. s elpohonem DN 25 PN 250	4	ks	80 000 Kč
	ventil uzavírací s elpohonem DN 25 PN 250	2	ks	60 000 Kč
	ventil uzavírací ruční DN 25 PN 250	2	ks	40 000 Kč
Vstřík chl. vody	mařič tl. energie	2	ks	28 000 Kč
	ventil uzavírací s elpohonem DN 40 PN 40	2	ks	60 000 Kč
	zpětná klapa DN 40 PN 40	2	ks	15 000 Kč
	potrubní filtr D71 118 540 DN 40	2	ks	9 000 Kč
Odvodnění	odvodňovací baterie DN 50			
	-odváděč	1	ks	9 000 Kč
	-uzav. ventily	3	ks	12 000 Kč
	-trubky	24	m	8 000 Kč
Inženýring	projekční činnost bypasových stanic			1 100 000 Kč
	technická pomoc výrobce			1 170 000 Kč
Výkony	montážní práce strojní			5 465 000 Kč
	montážní práce elektro a MaR			3 000 000 Kč
		Celkem:		18 000 000 Kč

Tabulka 11.1. Materiál bypasových stanic

Ze seznamu potřebného materiálu a předpokládaného rozsahu práce pro realizaci jsem vypočítal, že náklady na bypassové stanice činí cca.18 000 000,-Kč.

Předpokládám, že bypassová stanice pro TG 15 je totožná s TG 16. Proto lze konstatovat, že náklady lze podělit dvěma, tudíž cena na jednu turbínu vychází ve výši 9 000 000,-Kč

11.3 Výpočet návratnosti investice

Obecně lze konstatovat, že každá investice se provádí za účelem zisku. Aby byla investice návratná, musí se náklady vrátit do předem definované doby. Já jsem si určil, že návratnost investice nesmí překročit dobu 5-ti let.

Jednoduchý výpočet návratnosti investice provedu podle následujícího vzorce:

$$r = \frac{N_i}{N_{zisk}} = \quad \text{[roky]} \quad (11.2.)$$

rroky návratnosti [roky]

N_i investiční náklady [Kč]

N_{zisk} zisk rozšířením regulačního pásma [Kč]

Po dosazení dostaneme:

N_i 1 800 000 [Kč]

N_{zisk} 4 203 360 [Kč]

$$r = \frac{N_i}{N_{zisk}} = \frac{18000000}{4203360} = 4,28 \quad \text{[roku]} \quad (11.3.)$$

Z výpočtu je patrné, že instalací bypassových stanic na TG15 a TG16 a rozšíření regulačního rozsahu pro poskytování podpůrných služeb o +/-15MW je investice návratná za 4,28 roku provozu.

12 Závěr

Každá firma v prostředí tržního hospodářství vynakládá spoustu finančních prostředků za účelem následného zisku. Energetika je odvětví národního hospodářství, které je silně regulováno a ovlivňováno opatřeními ke snižování vlivu na životní prostředí. Tímto se spousta výroben dostává do silného konkurenčního boje, kde hraje velkou roli ekonomická výroba a umění obchodovat s produkty.

V diplomové práci jsem řešil nevyužitou rezervu elektrického výkonu turbín v oblastech jejich minimálních výkonů. Tyto výkony je možno výhodně prodat na trhu s elektřinou a zajistit vyšší zisky z provozování technologie.

Jediným problémem bylo zajištění cirkulačního množství na kotlích. Toto jsem vyřešil návrhem bypassových stanic kolem TG 15 a TG16. Tyto stanice budou svým provozem udržovat minimální výkony na kotlích a tím umožní sjíždění turbín na jejich minimální výkony. Bypassové stanice budou schopny přepouštět celkové množství 100 t/h páry.

Instalací bypassových stanic v Elektrárně Třebovice se docílí zvýšení regulačního rozsahu parních turbín pro sekundární regulaci stability elektrizační soustavy o ± 15 MW. V absolutních číslech se jedná o rozšíření pásma regulace z 88 MW na nových 118 MW elektrické energie.

Provedl jsem ekonomické zhodnocení navrhované investice porovnáním předpokládaných nákladů na instalaci zařízení s přínosem za prodej zvýšeného regulačního výkonu na trhu s elektřinou. Navrhované řešení způsobu využití celého výkonového rozsahu parních turbín pro poskytování podpůrných služeb je ekonomicky návratné. Vypočtená návratnost vložené investice je 4,28 let.

Rozšiřování pásem regulací turbín za pomoci bypassových stanic je uplatnitelné i v jiných výrobnách, které se potýkají s obdobnými problémy. Z celé koncepce zvýšení regulačního rozsahu podpůrných služeb instalací bypassových stanic je zřejmé, že i řízeným krátkodobým neekonomickým provozováním zařízení lze vytvořit zisk, který je hybnou silou dnešní doby.

13 Přílohy

Příloha č.1	P01_Katalogový list snímače teploty
Příloha č.2	P02_Katalogový list diferenčního snímače tlaku
Příloha č.3	P03_Katalogový list snímače tlaku
Příloha č.4	P04_Výkres BTG ventilu – formát A3
Příloha č.5	P05_Výkres Dump-tube – formát A3
Příloha č.6	P06_Výkres Schéma TG15,TG16 – formát A1
Příloha č.7	P07_Výkres Dispozice bypassu TG15 – formát A1

14 Seznam použitých zdrojů

- [1] Výroční zpráva Dalkia Česká republika,a.s. za rok 2010
- [2] Hub F.,Kružík F.,Veselský J. Moravskoslezské teplárny 100 let služeb veřejnosti.
- [3] <http://www.mattech.cz>
- [4] ČSN EN ISO 5167
- [5] <http://www.ccivalve.com>
- [6] <http://www.zpanp.cz>
- [7] <http://www.jsp.cz>
- [8] Místní provozní a pracovní předpisy ETB
- [9] <http://www.doosan.com/skodapower/cz/main.do>
- [10] Vilimec, L.:Řízení a regulace energetických zařízení, VŠB TU Ostrava, 2008
- [11] Ambrož, J.: Parní turbíny a kondenzace, ČVUT Praha, 1984



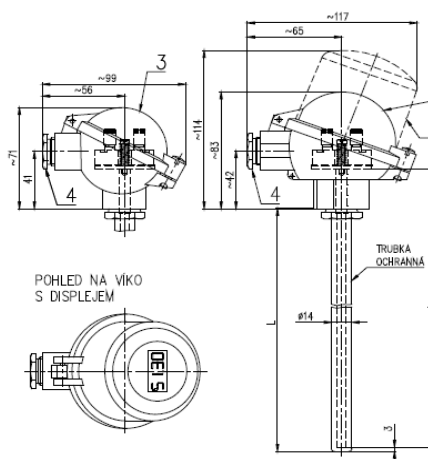
Snímač teploty termoelektrický s kovovou ochrannou trubicí bez převodníku nebo s převodníkem

str. 1/4

351

Použití

- pro dálkové měření teploty plynů, pro které je materiál ochranné trubky svými vlastnostmi vhodný (např. v pecích)
- pro prostředí s nebezpečím výbuchu v prostorách Zóna 2, Zóna 1 i Zóna 0 dle ČSN EN 60079-10-1 při použití převodníku Ex ia nebo při zapojení do Ex ia obvodu
- jako vybrané zařízení bezpečnostní třídy 2 a 3 ve smyslu vyhlášky č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd
- v kompletu s řídicími nebo diagnostickými systémy pro monitorování procesu
- v provedení s převodníkem k převodu signálu termoelektrického čidla na unifikovaný výstupní signál 4 až 20 mA nebo signál digitální (převodník s HART protokolem)
- do prostředí, kde je vyžadována seismická odolnost dle ČSN IEC 980 pro ověření seismické způsobilosti elektrického zařízení bezpečnostního systému jaderných elektráren v rozsahu parametrů 1 Hz až 33 Hz a zrychlení 3g, protokol č. 6430-108/2008; VOP-026 Štenberk, s.p., divize VTÚPV Vyškov (snímač bez převodníku nebo s převodníky APAQ-H, IPAQ-H a MESO-H)



- 1 - hlavice kulová (slitina Al)
(pro převodník Ex ia s vnější a vnitřní svorkou)
nebo hlavice kulová plastová
(nelze použít pro převodník Ex ia)
- 2 - hlavice kulová se zvýšeným víkem (slitina Al)
bez displeje pro převodník ve víku nebo s displejem
(pro převodník Ex ia s vnější a vnitřní svorkou)
- 3 - hlavice kulová malá (slitina Al)
(pouze pro svorkovnici nebo převodníky APAQ-HCF, MINIPAQ-HLP)
- 4 - kabelová vývodka M20x1,5
L jmenovitá délka
Lmv délka měřicí vložky

Technické parametry

Provedení: s kovovou ochrannou trubicí

Rozsah měření: termočlánek "J" -200 až 800 °C
termočlánek "K" -200 až 1150 °C

Čidlo: měřicí termočlánek J (Fe-CuNi)
nebo K (NiCr-NiAl); toleranční třída 2 nebo 1
dle ČSN IEC 584-2

Jmenovitá délka: 350 až 2000 (3000) mm

Krytí: IP65

Snímač vychází z DIN 43772 a původní ČSN 25 8301,
provedením ČSN EN 61140 ed.2

Provedení s převodníkem

Provedení převod.: bez nebo s GO případně provedení Ex i

Výstupní signál: dle zvoleného typu převodníku;
signál 4 až 20 mA, HART komunikace

Rozsahy měření: pevně nastavené (převodník 420)
nebo programově popř. nastavitelné

Napájecí napětí: rozsah dle typu převodníku, typicky 24V DC
např. zdroj INAP 901

Certifikace

- prohlášení o shodě ES-251000
- nevýbušnost Ex ia, ES certifikát o přezkoušení typu podle 94/9/ES (ATEX 100), (dle typu převodníku a displeje)
- certifikát shody GOST-R pro vstup výrobků na území RSFR
- povolení Rostechnadzoru k použití na území RSFR
- metrologický certifikát pro území Běloruska



Rosemount 2051CD PK

Snímač tlakové difference s ventilovou soupravou Parker

Snímač tlakové difference:

- Měření tlakové difference kapalin, plynů a par.
- Rozsahy od 120 Pa do 13,8 MPa.
- Přestavitelnost až 100:1.
- Přesnost až 0,075 % z nastaveného rozsahu do 10:1.
- Stabilita až 0,1 % z max. rozsahu do 2 let.
- Max. statický tlak 25 MPa.
- Komunikace HART, možnost rozšíření na FOUNDATION FIELDBUS.
- Nevýbušné provedení (Ex) II 1 G Ex ia IIC T4 a (Ex) II 1/2 G Ex d IIC T6-T5.

Ventilová souprava:

- Provozní tlak až 41,4 MPa.
- Provozní teplota -54 až +538 °C.
- Montáž přímo na snímač tlakové difference.
- Materiál tělesa nerezová ocel 17349.
- Rozteč tlakových vstupů 54 mm.
- Připojení vstupu 1/2" NPT vnitřní.



NOVINKA

Typ	Popis	
• 2051CD PK3	Snímač tlakové difference s třicestnou ventilovou soupravou Parker	
• 2051CD PK5	Snímač tlakové difference s pěticestnou ventilovou soupravou Parker	
Kód	Rozsah	
1	0..0,12 / 0..6,22 kPa (-6,22..+6,22 kPa)	
• 2	0..0,62 / 0..62,3 kPa (-62,3..+62,3 kPa)	
3	0..2,5 / 0..250 kPa (-250..+250 kPa)	
4	0..20 / 0..2070 kPa (-2,07..+2,07 MPa)	
5	0..140 / 0..13790 kPa (-13,79..+13,79 MPa)	
Kód	Výstupní signál	
• A	4 až 20 mA, SMART s protokolem HART	
Kód	MATERIÁLOVÉ PROVEDENÍ	
Kód	Koplanární příruba	Odvzdušňovací ventilký
2	AISI 316 (17346) nerezová ocel	AISI 316 (17346) nerezová ocel
5	pokovená uhlíková ocel	AISI 316 (17346) nerezová ocel
• 0	bez koplanární příruba - viz Volitelné příslušenství kód H2, H3	
Kód	Oddělovací membrány	
• 2	AISI 316L (17349) nerezová ocel	
Kód	Těsnící kroužky	
• A	sklem plněný PTFE	
Kód	Náplň čidla	
• 1	silikonový olej	
Kód	Materiál skříně elektroniky, závity pro kabelové vývody	
• A	lakovaná hliníková skřín, závity 1/2"-14 NPT	
Kód	VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ A PROVEDENÍ	
Kód	Příruba	
• H2	tradiční příruba AISI 316 (17346) nerezová ocel vč. ventilků (pro materiálové provedení kód 0)	
Kód	Nastavení rozsahu a výstupního signálu	
• EM2	nastavení rozsahu měření dle objednávky (uvést v objednávce)	
• SQR	odmocněný výstupní signál	
• V1	reverzovaný výstupní signál	
Kód	Ukazovací přístroje	
M5	digitální ukazovací přístroj	
Kód	Schválená zvláštní provedení	
I1	jiskrová bezpečnost (Ex) II 1 G Ex ia IIC T4	
E1	pevný závěr (Ex) II 1/2 G Ex d IIC T6-T5	

Kód	Doplňky
BZS	zákaznický štítek vyplněný dle objednávky (max. 16 znaků)
• Q4	kalibrační list
Q8	materiálový certifikát dle ISO 10204 3.1B
P1	zkouška zvýšeným statickým tlakem
P2	speciální čištění pro měření O ₂ (ne pro kód S5)
L4	nerezové šrouby a matice pro příruby a adaptéry
T1	bleskojistka a RFI filtr
Kód	Montážní držáky
B1	úhlový držák se třmenem pro 2" trubku (pro tradiční přírubu)
B2	úhlový držák pro montáž na stěnu (pro tradiční přírubu)
• BJ2	úhlový držák pro montáž na stěnu (pro tradiční přírubu) provedení JSP
B3	přímý držák se třmenem pro 2" trubku (pro tradiční přírubu)
B4	montážní držák na stěnu nebo 2" trubku (pro koplanární přírubu)
Kód	Šroubení
• DZ1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.12/8 mm z uhlíkové oceli (SK 1 4 1, viz Informační list č. 0082)
• DZ2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.12/8 mm z nerezové oceli (SK 1 4 4, viz Informační list č. 0082)
• DZM1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.12/8 mm z uhlíkové oceli (SV 1 4 1, viz Informační list č. 0082)
• DZM2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.12/8 mm z nerezové oceli (SV 1 4 4, viz Informační list č. 0082)
• SZP10N1/2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) se dvěma zářeznými kroužky, z nerezové oceli pro trubku pr.10 mm
• SZP12N1/2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) se dvěma zářeznými kroužky, z nerezové oceli pro trubku pr.12 mm
• SZP14N1/2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) se dvěma zářeznými kroužky, z nerezové oceli pro trubku pr.14 mm
Kód	Upevňovací šrouby pro montáž ventilové soupravy na snímač tlakové difference
• SR2 ¹⁾	4 ks šroub 7/16"-20 UNF x 6/4" (38 mm), pozinkovaný, pro snímač s tradiční přírubou
• SR3 ¹⁾	4 ks šroub 7/16"-20 UNF x 2 3/4" (70 mm), pozinkovaný, pro snímač s koplanární přírubou
Kód	Kabelové vývodky
• KP1	plastová vývodka pro pr. 5÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
• KPI2	plastová vývodka modrá Ex e II pro pr. 5÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
• KM1	mosazná vývodka pro pr. 8÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
• KME7	mosazná vývodka pro pr. 4÷8 mm a záslepka, Ex d, 1/2" NPT
KME8	mosazná vývodka pro pr. 8÷11 mm a záslepka, Ex d, 1/2" NPT
• DK1	připojovací konektor DIN 43650 a záslepka 1/2" NPT (viz Informační list č. 0082)
Kód	Ostatní doplňky
• HARTWinCom R475	komunikátor pro práci se snímači SMART pomocí PC (viz Informační list č. 0080) komunikátor HART Rosemount 475 (475 H P 1 E NA 9 GM 9)
• ZS-010	napájecí zdroj v provedení na lištu TS35 a TS32 (IP 40) (1190100, viz Informační list č. 0003)
• ZS-011	napájecí zdroj v provedení pro montáž na stěnu (IP 55) (1190110, viz Informační list č. 0003)
• Impulsní potrubí	trubka bezešvá, 12x1,5, ASTM A 312 TP321H (1.4541 dle DIN, 17248 dle ČSN) s mat. atestem 3.1 dle EN 10204
Příklad objednávky: 2051CD PK3 2 A 0 2 A 1 A H2 EM2 (0.25 kPa) BJ2 DZ1 KM1 ZS-010 (uvést měřené médium)	

Rosemount 2051T

Snímače relativního a absolutního tlaku

- Měření relativního a absolutního tlaku kapalin, plynů a par.
- Rozsahy 2,07 kPa do 68,94 MPa.
- Přestavitelnost až 100:1.
- Přesnost až 0,075 % z nastaveného rozsahu do 10:1.
- Stabilita až 0,1 % z max. rozsahu do 2 let.
- Max. statický tlak 25 MPa.
- Komunikace HART, možnost rozšíření na FOUNDATION FIELDBUS.
- Nevýbušné provedení (Ex) II 1 G Ex ia IIC T4 a (Ex) II 1/2 G Ex d IIC T6-T5.



Typ	Popis	Cena
2051TG	Snímač relativního tlaku	NAB
2051TA	Snímač absolutního tlaku	NAB
Kód	ROZSAH	
	2051 TG	2051 TA
1	0..2,07 / 0..210 kPa (-101..210 kPa)	0..2,07 / 0..210 kPa
2	0..10,34 / 0..1030 kPa (-101..1030 kPa)	0..10,34 / 0..1030 kPa
3	0..55 / 0..5520 kPa (-101..5520 kPa)	0..55 / 0..5520 kPa
4	0..280 / 0..27580 kPa (-101..27580 kPa)	0..280 / 0..27580 kPa
5	0..13790 / 0..68940 kPa (-101..68940 kPa)	0..13800 / 0..68940 kPa
Kód	Výstupní signál	
A	4 až 20 mA, SMART s protokolem HART	
M	1 až 5 V, SMART s protokolem HART, nízkopříkonový (ne s kódem I1, E1)	
F	FOUNDATION FIELDBUS	
Kód	Připojovací závit pro přívod tlaku	
2B	1/2"-14 NPT vnitřní kuželový	
2C	G1/2" dle DIN 16288 vnější manometrový (pouze pro rozsahy 1 až 4)	
Kód	MATERIÁLOVÉ PROVEDENÍ	
	Oddělovací membrána	Vstupní díl
2	AISI 316L (17349) nerezová ocel	AISI 316L (17349) nerezová ocel
3	Hastelloy C-276	Hastelloy C-276
Kód	Náplň čidla	
1	silikonový olej	
2	inertní náplň (Fluorinert FC-43)	
Kód	Materiál skříně elektroniky, závitů pro kabelové vývody	
A	lakovaná hliníková skříň, závit 1/2"-14 NPT	
B	lakovaná hliníková skříň, závit M20x1,5 (CM20)	
J	nerezová skříň, AISI 316 (17346), závit 1/2"-14 NPT	
K	nerezová skříň, AISI 316 (17346), závit M20x1,5 (CM20)	

Příloha č.3

VOLITELNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ A PROVEDENÍ	
Kód	Nastavení rozsahu a výstupního signálu
EM2	nastavení rozsahu měření dle objednávky (uvést v objednávce)
SQR	odmocněný výstupní signál
V1	reverzovaný výstupní signál
Kód	Schválená zvláštní provedení
I1	jiskrová bezpečnost (Ex) II 1 G Ex ia IIC T4
E1	pevný závěr (Ex) II 1/2 G Ex d IIC T6-T5
Kód	Ukazovací přístroje
M5	digitální ukazovací přístroj
Kód	Doplňky
BZS	zákaznický štítek vyplněný dle objednávky (max. 16 znaků)
Q4	kalibrační list
Q8	materiálový certifikát dle ISO 10204 3.1B
P1	zkouška zvýšeným statickým tlakem
P2	speciální čištění pro měření O ₂
T1	bleskojistka a RFI filtr
S1	připojení jednoho membránového přenašeče
S5	úprava pro montáž integrované ventilové soupravy R306
R306	uzavírací ventil nebo dvoucestná ventilová souprava (pouze s kódem S5)
Kód	Montážní držáky
B4	montážní držák na stěnu nebo 2" trubku
Kód	Šroubení
DZ1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.12/8 mm z uhlíkové oceli (pro kód 2B) (SK 1 4 1, viz Informační list č. 0082)
DZ2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.12/8 mm z nerezové oceli (pro kód 2B) (SK 1 4 4, viz Informační list č. 0082)
DZH1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.14/8 mm z uhlíkové oceli (pro kód 2B) (SK 1 5 1, viz Informační list č. 0082)
DZH2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací kuželka pr.14/8 mm z nerezové oceli (pro kód 2B) (SK 1 5 4, viz Informační list č. 0082)
DZM1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.12/8 mm z uhlíkové oceli (pro kód 2B) (SV 1 4 1, viz Informační list č. 0082)
DZM2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.12/8 mm z nerezové oceli (pro kód 2B) (SV 1 4 4, viz Informační list č. 0082)
DZMH1	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.14/8 mm z uhlíkové oceli (pro kód 2B) (SV 1 5 1, viz Informační list č. 0082)
DZMH2	šroubení (závit 1/2"-14 NPT) a navařovací vsuvka pr.14/8 mm z nerezové oceli (pro kód 2B) (SV 1 5 4, viz Informační list č. 0082)
Kód	Kabelové vývodky
KP1	plastová vývodka pro pr. 5÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
KPI2	plastová vývodka modrá Ex e II pro pr. 5÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
KM1	mosazná vývodka pro pr. 8÷12 mm a záslepka, 1/2" NPT
KME7	mosazná vývodka pro pr. 4÷8 mm a záslepka, Ex d, 1/2" NPT
KME8	mosazná vývodka pro pr. 8÷11 mm a záslepka, Ex d, 1/2" NPT
DK1	připojovací konektor DIN 43650 a záslepka 1/2" NPT (viz Informační list č. 0082)
Kód	Ostatní doplňky
HARTWinCom	kommunikátor pro práci se snímači SMART pomocí PC (viz Informační list č. 0080)
R475	kommunikátor HART Rosemount 475 (475 H P 1 E NA 9 GM 9)
ZS-010	napájecí zdroj v provedení na lištu TS35 a TS32 (IP 40), (1190100, viz Informační list č. 0003)
ZS-011	napájecí zdroj v provedení pro montáž na stěnu (IP 55), (1190110, viz Informační list č. 0003)
VS 100	uzavírací ventil z nerezové oceli s maticí G1/2" (pro kód 2C), (VS 100 01 05 1 0 P4, viz Informační list č. 0402)
VS 120	zkušební ventil z nerezové oceli s maticí G1/2" (pro kód 2C), (VS 120 01 05 1 0 P4, viz Informační list č. 0402)
Příklad objednávky: 2051TG 2 A 2C 2 1 A EM2 (0..600 kPa) M5 B4 VS 120 (uvést měřené médium)	